Über den Energieverbrauch im Dielektrikum bei hohen Wechselspannungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Vorgelegt am 14 JULI 1906

von

Dipl.-Ing. **Paul Humann**

aus Bochum.

Druck von R. Oldenbourg in München 1906.

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Über den Energieverbrauch im Dielektrikum bei hohen Wechselspannungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Vorgelegt am 14 JULI 1906

von

Dipl.-Ing. **Paul Humann**

aus Bochum.

Druck von R. Oldenbourg in München 1906.

Gedruckt mit Genehmigung der philosophischen Fakultät der Universität Bonn.

Referent: Herr Prof. Dr. Kayser.

Über den Energieverbrauch im Dielektrikum bei hohen Wechselspannungen.

Es ist schon mehrfach die Beobachtung gemacht worden, daß ein Kondensator, bestehend aus zwei Belegungen, die durch ein Dielektrikum getrennt sind, warm wird, wenn derselbe hohen Wechselspannungen ausgesetzt ist. Werden die beiden Belegungen dagegen an eine Gleichstromquelle angelegt, so tritt diese Erscheinung nicht auf. Es tritt bei Wechselstrom im Kondensator ein Umsetzen der zugeführten elektrischen Energie in Wärme auf, für welches die einzelnen Beobachter verschiedene Gründe angegeben haben. Arno und Heß glauben diesen Energieverbrauch im Kondensator auf kleine leitende Teilchen im Dielektrikum zurückführen zu müssen, Steinmetz und v. Hoor schreiben denselben dem Vorhandensein von Luftbläschen im Isoliermaterial zu und Apt und Mauritius gehen sogar so weit, den Energieverbrauch im Dielektrikum einzig dem Isolationswiderstand zur Last zu legen. Benischke und Steinmetz halten es für möglich, daß die Verluste (als solche müssen wir den Energieverbrauch im Dielektrikum ansprechen) teilweise von den mechanischen Erschütterungen, die sich zuweilen durch Tönen bemerkbar machen, herrühren. Maxwell und v. Hoor nehmen auch eine chemische Polarisation an. Die meisten Beobachter aber neigen zu der Ansicht, daß es sich um eine dielektrische Hysteresis, ähnlich der magnetischen, handelt, unter anderen Steinmetz, Arno, Schauffelberger, Threllfall, Skinner, Heinke, Eisler, Beaulard, Rosa und Smith und

vor allen v. Hoor. Am Schlusse der Arbeit sind die Literaturquellen kurz zusammengestellt.

Von welchen Größen der Energieverlust abhängt, ist ebenfalls noch nicht ganz aufgeklärt. Während Apt und Mauritius, Heinke, Eisler, Janet u. a. den Energieverbrauch dem Quadrate der Spannung proportional finden, d. h.

$$W = \text{Konstante} \times E^2,$$

wobei W = Energieverbrauch in Watt und E = effektive Spannung in Volt bedeutet, findet Schauffelberger dieses Gesetz nur für vollkommene Kondensatoren bestätigt. Arno findet die Beziehung:

$$W = \text{Konstante} \times E^{1,6}$$

und Threllfall:

$$W = \text{Konstante} \times E^m,$$

wobei für homogene Dielektrika:

$$m = 1,5 \text{ bis } 1,96$$

und für unhomogene:

$$m = 2 \text{ ist.}$$

Weiterhin finden einige Experimentatoren, daß bei Annäherung der Spannung an den Wert, bei dem das Dielektrikum durchbrochen wird, der Verlust stärker zunimmt als mit dem Quadrate der Spannung.

Einige Beobachter, unter anderen Eisler, sprechen aus, daß der Verlust im Dielektrikum bei gleichem Material proportional der Kapazität des Kondensators ist.

Von wesentlicher Bedeutung ist die Abhängigkeit des Energieverbrauches von der Periodenzahl des Wechselstromes. Auch hier gehen die Ansichten auseinander. So findet Beaulard, daß der Verlust pro Zyklus bei längerer Periodendauer kleiner und für eine Periodendauer von 15 Minuten = 0 wird. Eine Abhängigkeit von der Periodenzahl stellen Eisler, Nothrup, Mercanton und Skinner fest, während Steinmetz sowie Rosa und Smith Proportionalität zwischen Verlust und Periodenzahl erkennen.

Dann wird auch die Temperatur des Dielektrikums einen großen Einfluß auf den Energieverbrauch ausüben. Rosa und Smith haben hierüber einige Versuche gemacht, die aber sehr unvollständig sind.

Hieraus geht hervor, daß für die Vorausbestimmung der Verluste in den Kondensatoren recht dürftige Unterlagen vorhanden sind, und deshalb hat es der Verfasser unternommen, mit den reichen Hilfsmitteln, die ihm im Laboratorium der Firma Felten & Guilleaume Lahmeyerwerke Akt.-Ges., Carlswerk zu Mühlheim a. Rh., zur Verfügung standen, an praktisch in großen Mengen verwendeten Kondensatoren, nämlich an elektrischen Kabeln, möglichst umfangreiche Versuche durchzuführen.

Durch viele ausgeführte Messungen an gleichartigen Dielektricis bin ich zu der Überzeugung gekommen, daß der Verlust sich nach folgender Beziehung berechnen läßt:

$$W = \text{Konst.} \cdot E^2 \cdot \nu \cdot C.$$

Hier bedeutet:

W = den Energieverbrauch in Watt.
E = effektive Spannung in Volt.
ν = Periodenzahl des Wechselstromes pro Sekunde.
C = Kapazität des Kondensators in Farad.

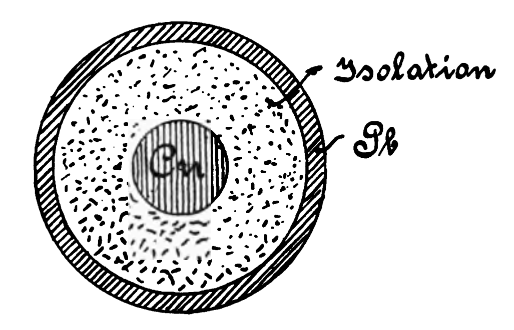
Durch die nachfolgenden Versuchsergebnisse soll die obige Beziehung bewiesen werden. Weiterhin soll dann die Abhängigkeit des Energieverbrauchs im Dielektrikum von der Temperatur beobachtet werden.

Die in der Einleitung erwähnten Arbeiten haben in einem vor kurzem erschienenen Buche[1]) eine kritische Bearbeitung erfahren, bei der die Frage untersucht ist, inwieweit die dielektrischen Verluste zur Erwärmung der Kabel beitragen können.

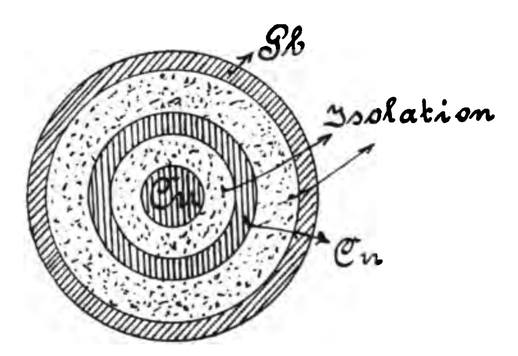
Wie schon erwähnt wurde, sind meine Messungen an elektrischen Kabeln vorgenommen worden. Dieselben können als sehr vollkommene Kondensatoren betrachtet werden.

---

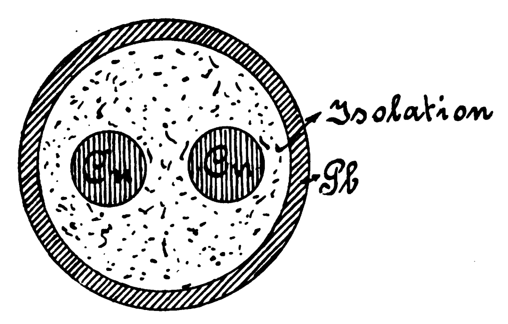
[1]) Prof. Dr. Teichmüller, Die Erwärmung der elektrischen Leitungen. Stuttgart 1905, S. 132 bis 153.



Einleiterkabel.

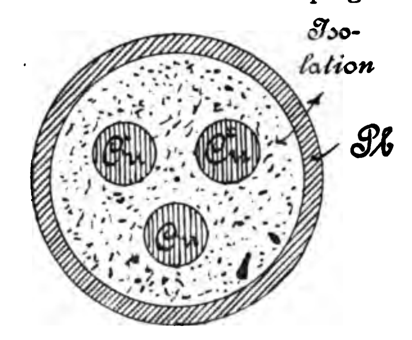


Konzentrisches Zweileiterkabel.



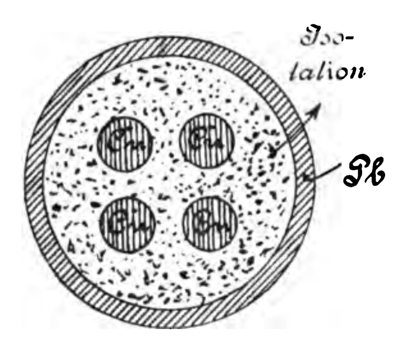
Verseiltes Zweileiterkabel.

Wesentlich besteht ein solches Kabel aus einem oder mehreren Kupferleitern, die mit einem Isoliermaterial, meist imprägnierter Papier- oder Faserisolation, umgeben und dann in einen gemeinsamen, natlosen Bleimantel eingeschlossen sind. Die Imprägniermasse besteht aus einer Mischung von Harzen, Ölen und Fetten von der verschiedensten Zusammensetzung.



Verseiltes Dreileiterkabel.

In den nebenstehenden Figuren sind die Querschnitte einiger Kabelarten veranschaulicht. Bei den sog. Mehrleiterkabeln können die Leiter konzentrisch oder verseilt angeordnet sein, man spricht dann von konzentrischen Zwei -u. Dreileiterkabeln od. von verseilten Zwei-, Drei- und Vierleiterkabeln.



Verseiltes Vierleiterkabel.

Bei der Herstellung der Kabel werden die Kupferleiter zuerst mit der Isolation, Papier oder Faserstoff, umgeben und im Vakuum bei hoher Temperatur getrocknet. Hierdurch wird Luft und Feuchtigkeit nach Möglichkeit, d. h. soweit der praktische Prozeß es erreichen läßt, entfernt. Jetzt erst wird die Isolation getränkt und dann das ganze Kabel mit dem dichten Bleimantel umgeben. In den Bleikabeln haben wir demnach einen sehr vollkommenen Kondensator, bei welchem Verluste durch leitende Teilchen und Luftblasen ausgeschlossen erscheinen.

Es ist zuerst nötig, eine einwandfreie Meßmethode zur Bestimmung des Energieverbrauches im Dielektrikum festzustellen.

Wenn ein Kondensator mit Wechselstrom beansprucht wird, so tritt eine der Kapazität des Kondensators entsprechende Stromstärke auf. Für sinusförmigen Wechselstrom gilt die Beziehung:

$$J_c = E_c \cdot w \cdot C \cdot 10^{-6}.$$

Es bedeutet hier:

J_c ... Ladestrom in Ampere.
E_c ... Spannung am Kondensator in Volt.
J_c und E_c sind Effektivwerte.
$w = 2\pi\nu$ ... Wechselgeschwindigkeit bei der Periodenzahl ν.
C ... Kapazität in Mikrofarad.

Spannung und Stromstärke haben gegeneinander eine Phasenverschiebung von nahezu 90^0, d. h. in dem Augenblick, in dem die Spannung ihren höchsten Augenblickswert erreicht hat, ist die Stromstärke gleich Null.

Abgesehen von Arno und Schauffelberger, welche die Messungen im elektrischen Drehfelde bzw. Wechselfelde vorgenommen haben, sind folgende Methoden angewandt worden:

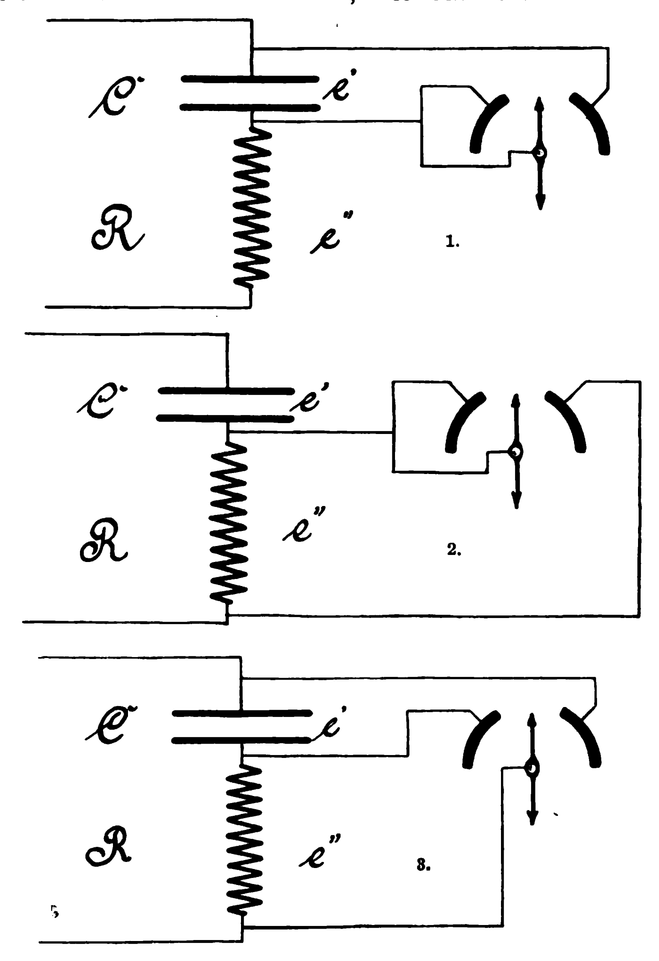
Eisler hat mit dem Elektrometer gemessen. Er schaltet dem zu messenden Kondensator einen induktionsfreien Widerstand vor und schickt durch diese Kombination einen Wechselstrom von bestimmter Spannung und Periodenzahl. Es werden dann drei Elektrometermessungen ausgeführt, bei denen die Ausschläge des Elektrometers entsprechend den nebenstehenden Figuren mit α_1, α_2 und α_3 bezeichnet werden. Aus α_1 findet man die Spannung am Kondensator C, aus α_2 die Stromstärke und aus der Beziehung

$$W = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{k \cdot R}$$

den Energieverlust im Kondensator C. Es bedeutet hier k die Elektrometerkonstante und R den Ohmschen Widerstand des Vorschaltewiderstandes.

An und für sich scheint ja diese Methode der Messung des Energieverlustes im Dielektrikum keine beson-

deren Schwierigkeiten zu bieten. Es ist aber zu bedenken, daß die meisten Maschinen zur Erzeugung von Wechselstrom Kurvenformen besitzen, die sehr stark von der



Sinusform abweichen, besonders wenn die Maschinen mit Kondensatoren belastet sind; die einfachen Gesetze für Wechselstrom gelten aber nur für Sinusstrom. Weiterhin

muß der Widerstand R vollkommen induktions- und kapazitätsfrei sein, und dieser Forderung ist nur schwer zu genügen. Als weiterer Nachteil kommt hinzu, daß die drei Elektrometermessungen zeitlich nacheinander ausgeführt werden müssen und daß bei Ausdehnung der Untersuchungen über weite Spannungsbereiche mehrere Elektrometer für verschiedene Empfindlichkeiten notwendig sein würden.

Diese Gründe lassen die Anwendung des Elektrometers zur Messung der Energieverluste im Dielektrikum nicht zweckmäßig erscheinen.

Apt und Mauritius haben den Energieverbrauch eines Kondensators aus der Differenz des Energieverbrauches eines leerlaufenden und eines mit dem Kondensator belasteten Transformators bestimmt. Der Effektverbrauch wird auf der Niederspannungsseite des Transformators gemessen. Abgesehen davon, daß die Messung des Effektverlustes im Dielektrikum hier nicht mit sinusförmigem Wechselstrom vorgenommen wird, ist auch eine Verschiedenheit der Kurvenform bei leerlaufendem und bei dem mit dem Kondensator belasteten Transformator und damit eine Verschiedenheit der jedesmaligen Verluste im Eisen des Transformators zu erwarten. Diese Gründe bewogen uns, auch diese Methode zu verwerfen.

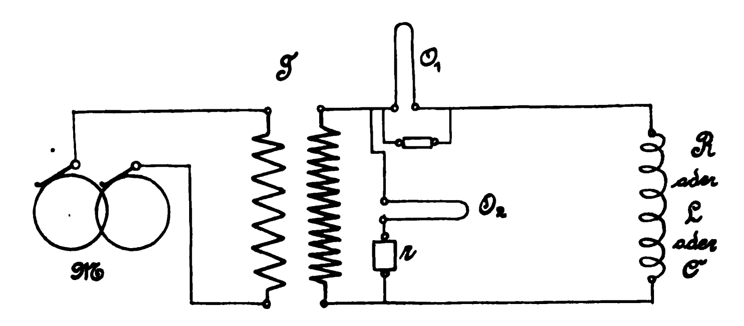
Andere Beobachter, so Benischke, haben Thermoelemente in das Dielektrikum eingebaut und damit die Temperaturerhöhung gemessen. Rosa und Smith haben bei einer Untersuchung den Kondensator in ein Kalorimeter eingebracht und den Energieverbrauch desselben aus dem Vergleich mit dem Energieverbrauch eines in gleicher Weise eingebrachten Drahtwiderstandes bestimmt. Diese Methoden sind aber für Kabel von größerer Länge, welche auf große Holztrommeln aufgewickelt sind, nicht anwendbar.

Geeigneter scheint hier die Messung des Energieverbrauchs mit dem Wattmeter zu sein. Dasselbe wurde auch von Steinmetz und Rosa und Smith angewandt. Um bei dieser Messung mit sinusförmigen Wechselströmen zu arbeiten, wird dem Kondensator eine Selbstinduktions-

spule vorgeschaltet und diese so bemessen, daß d
ziehung besteht:

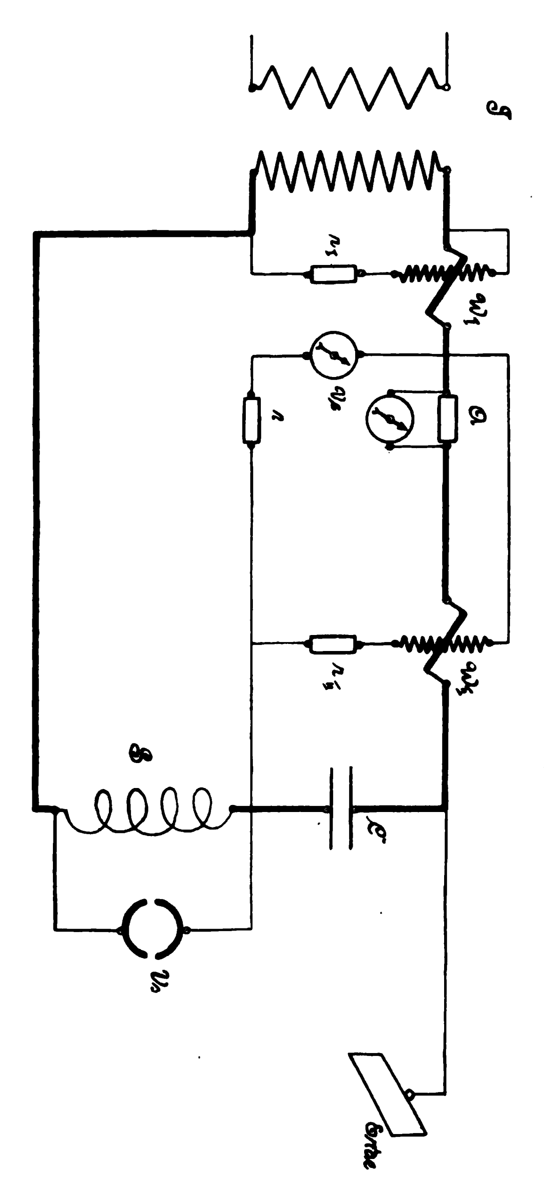
$$w\,L = \frac{10^6}{w\,C}$$

wobei w wieder die Wechselgeschwindigkeit, L die Selbstinduktion in Henry und C die Kapazität in Mikrofarad bedeutet. Es besteht dann zwischen der Kapazität C und der Selbstinduktion L für die der Wechselgeschwindigkeit w entsprechende Periodenzahl ν Resonanz. Bei Resonanz wirkt die Selbstinduktion dämpfend auf die schnellen Schwingungen, während die Kapazität die langsamen Schwingungen abdrosselt.



Es wurde oben schon erwähnt, daß die meisten Wechselstrommaschinen Stromkurven besitzen, die stark von der Sinusform abweichen, d. h. dieselben besitzen außer der Grundwelle stark ausgeprägte Oberschwingungen. Mit dem Oszillographen wurden nach beifolgendem Schema eine Reihe von Strom- und Spannungskurven aufgenommen und dabei das Vorhandensein von höheren Harmonischen beobachtet.

In der umstehenden Skizze bedeutet O_1 den Oszillographen für die Stromkurve und O_2 den für die Spannungskurve. Wenn jetzt statt des Widerstandes R, der Selbstinduktion L oder der Kapazität C die Hintereinanderschaltung von Selbstinduktion und Kapazität eingeschaltet wurde, und zwar, wenn die beiden Größen sich


Erde

annähernd im Resonanzverhältnis befanden, so wurden die Kurvenformen sinusförmig. Heinke hat wohl zuerst auf die Benutzung der Resonannz für diese Messungen aufmerksam gemacht.

Bei meinen Messungen habe ich als Induktionsspule zuerst die unterteilbare Wicklung eines Hochspannungstransformators mit Eisenkern benutzt. Die Messung wurde nach beistehender Skizze vorgenommen. Das Spiegelwattmeter W_{II} besteht aus einer feststehenden Stromspule mit wenigen Windungen Kupferdraht und einer senkrecht dazu an einem Metalldraht beweglich aufgehängten Spannungsspule aus vielen Windungen Nickelindraht. In der Spannungsspule ist ein Draht von hohem spezifischem Widerstand verwendet worden, damit die geringe Selbstinduktion der Spule gegenüber ihrem verhältnismäßig großen Ohmschen Widerstand zu vernachlässigen sei.

Um Erschütterungen des Instrumentes zu vermeiden, wurde dasselbe auf eine schwere Platte aufgestellt, die mit langen Eisendrähten an der Decke aufgehängt war. Schwingungen der Platte waren durch Öldämpfung aufgehoben.

Als Vorschaltwiderstand r_{II} zur Spannungsspule diente ein induktionsfreier Lamettawiderstand, der für den Gebrauch von hohen Spannungen mit Kabelmasse ausgegossen war. Dieser hat einen Gesamtwiderstand von 295 000 Ohm und besitzt zwecks Abstufung neun Anschlußpunkte.

Bei den Messungen wurde als geringster Vorschaltwiderstand zur Spannungsspule die Abteilung 0 bis 6, d. h. 98 900 Ohm benutzt. Gegenüber diesem großen Ohmschen Widerstand dürfte die Selbstinduktion der Spannungsspule zu vernachlässigen sein und eine Wattmeterkorrektion unnötig erscheinen.

Zur Spannungsmessung wurde ein Westonvoltmeter V_c mit induktionsfreiem Vorschaltwiderstand r benutzt. Nennt man den Eigenwiderstand des Voltmeters r_v und den Vorschaltwiderstand r, und es werden am Instru-

ment e Volt abgelesen, so berechnet sich die Gesamtspannung E aus der Beziehung:

$$E = \frac{e\,(r_v + r)}{r_v}.$$

Es standen einige Westonvoltmeter mit den Meßbereichen 75, 100, 150, 200, 300 und 600 Volt zur Verfügung. Als Vorschaltwiderstände waren sechs Widerstandskästen von je ungefähr 30000 Ohm vorhanden, die besonders für Hochspannungsmessungen gebaut waren.

Als Amperemeter A wurde ebenfalls ein Westonvoltmeter bis 10 Volt in Verbindung mit verschiedenen induktionsfreien Nebenschlüssen benutzt. Es wurden damit fünf Empfindlichkeiten, nämlich bis 0,1, 0,2, 0,5, 1,0 und 2,0 Ampere hergestellt.

Um die Instrumente gegen statische Einflüsse zu sichern, sind dieselben mit einem Metallgehäuse umgeben, welches jedesmal mit einem Pol derselben metallisch verbunden ist. Es hatte sich nämlich gezeigt, daß das als Amperemeter verwendete Westonvoltmeter bis 10 Volt bei sehr geringen Strömen, und wenn das Instrument eine beträchtliche Spannungsdifferenz gegen Erde besaß, einen negativen Ausschlag ergab. Dieser negative Ausschlag verschwand, wenn das Instrument mit dem erwähnten Schutzkasten umgeben war.

Zu beachten ist noch, daß die Westonvoltmeter bei den Messungen möglichst weit von allen Eisen- und Metallteilen entfernt gehalten wurden, um Einflüsse von außen zu vermeiden. Die Eichung des als Amperemeter benutzten Westonvoltmeters wurde mit Gleichstrom vorgenommen. Zur Kontrolle wurde aber noch mit Wechselstrom verglichen, indem als Vergleichsinstrument ein Präzisionswiderstand mit einem statischen Voltmeter nach Lord Kelvin benutzt wurde.

Als induktionsfreier Belastungswiderstand bei der Eichung des Wattmeters dienten hintereinander geschaltete Glühlampen, da die Selbstinduktion der elektrischen Glühlampen sehr klein ist. Man hat dann einfach Stromstärke und Spannung zu multiplizieren, um den Energieverbrauch zu erhalten. Es ergibt sich also:

$$E \cdot J = \text{Konst. } \alpha,$$

wenn α die Ablenkung am Wattmeter bedeutet.

Wenn hintereinander geschaltete Glühlampen mit hohen Wechselspannungen betrieben werden, wird man häufig die Beobachtung machen, daß einzelne Glühfäden in heftige Bewegung geraten und dann bald brechen, Diese Erscheinung muß auf eine Kapazitätswirkung zwischen den Fäden und den umgebenden Wänden zurückgeführt werden. Dieselbe verschwindet, wenn man um die Glasbirne einen Streifen Stanniol legt und diesen mit einem Pol der Lampe verbindet.

Um von der Exaktheit der senkrechten Stellung der Ebenen der beiden Spulen des Wattmeters aufeinander unabhängig zu sein, wurden die Ausschläge nach beiden Seiten gemessen, indem in den Stromkreis der Spannungsspule ein Umschalter eingebaut wurde.

Das Wattmeter W_1 war ein Präzisionswattmeter von Siemens & Halske und sollte lediglich als Kontrollinstrument dienen. Die Spannung an der Selbstinduktionsspule S wurde mit dem statischen Voltmeter V_s gemessen.

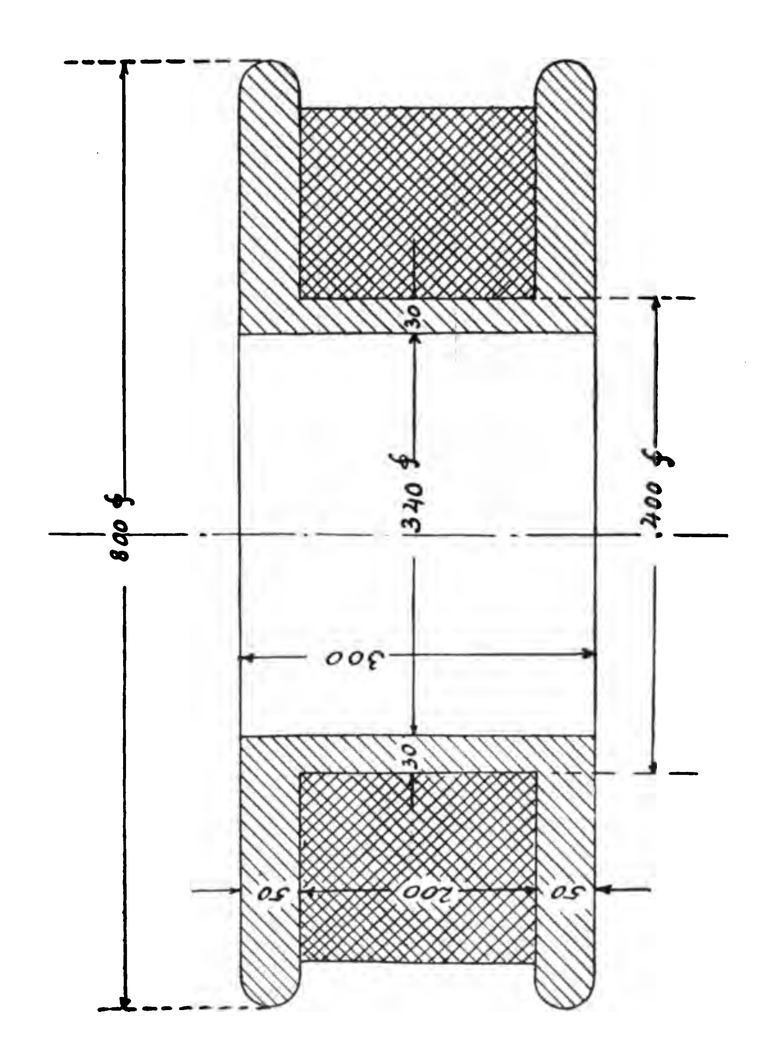
Die vorgenommenen Messungen nach dieser Methode haben ergeben, daß der Nebenschlußwiderstand zum Kondensator C einen wesentlichen Einfluß auf das Resultat ausübt. Dieser Nebenschlußwiderstand besteht aus der Spannungsspule des Spiegelwattmeters nebst Vorschaltwiderstand dazu und aus dem Voltmeter mit Vorschaltwiderstand. Es zeigte sich, daß mit kleiner werdendem Nebenschlußwiderstand die gemessenen Verluste im Kondensator kleiner wurden.

Da, wie schon bemerkt, zwischen Stromstärke und Spannung am Kondensator nahezu eine Phasenverschiebung von 90^0 besteht, so sind geringe Spuren von Kapazität oder Selbstinduktion in dem Vorschaltewiderstand des Wattmeters geeignet, ein falsches Resultat zu zeitigen. Um diese Phasenverschiebung etwas geringer zu machen und damit die Wattmetermessung zuverlässiger zu gestalten, wurden zwischen das Wattmeter W_{II} und den Kondensator kleine eisenlose Induktionsspulen eingeschaltet, deren Energieverbrauch berechnet werden konnte. Aber auch hierdurch war die Erscheinung nicht behoben.

Wie vorher gesagt wurde, haben die Nebenschlußwiderstände zum Kondensator bei der angegebenen Meßmethode einen großen Einfluß auf das Resultat. Es konnte dieser Fehler leider nicht aufgeklärt und beseitigt werden. Auch die Kapazitätswirkungen zwischen Strom- und Spannungsspule können einen Fehler hervorrufen. Diesen Umstand theoretisch zu verfolgen, lohnt sich nicht, da das Experiment mit hinreichender Deutlichkeit gezeigt hat, daß das Wattmeter in dieser einfachen Schaltung nicht verwendbar ist. Wir wollen deshalb auch in der Weise fortschreiten, daß wir auf experimentellem Wege eine Verbesserung der Methode zu erreichen suchen. Es sollen die Verluste von Kondensator und Induktionsspule, in Reihe geschaltet, zusammen gemessen werden, wobei als Induktionsspule eine solche ganz ohne Eisen verwendet wird, deren Energieverbrauch aus dem Ohmschen Widerstand gerechnet werden kann. Bei dieser Reihenschaltung ist nach Möglichkeit das Resonanzverhältnis zwischen Kondensator und Induktionsspule zu erstreben, damit im Wattmeter zwischen den Strömen in der Strom- und Spannungsspule nur eine geringe Phasenverschiebung herrscht.

Zu diesem Zwecke wurden zwei Spulen aus ganz trockenem Holze nach der nebenstehenden Skizze angefertigt und mit Kupferdraht bewickelt. Für die eine Induktionsspule wurde *Cu*-Draht von 1,3 mm Durchmesser oder 1,33 qmm Querschnitt verwendet. Die ganze fortlaufende Wicklung ist in zwölf Abteilungen geteilt, für welche folgende Werte gemessen wurden:

Abteilung	Windungszahl	Widerstand
0 bis I	686	12,2 Ohm
0 » II	1363	25,0 »
0 » III	1952	37,7 »
0 » IV	2462	50,4 »
0 » V	2949	63,7 »
0 » VI	3414	77,1 »
0 » VII	3844	90,5 »
0 » VIII	4414	104,9 »
0 » IX	4964	119,2 »
0 » X	5549	134,0 »
0 » XI	6115	148,8 »
0 » XII	6583	161,2 »


800
340
400
300
30
30
50
200
50

Die zweite Spule ist mit *Cu*-Draht von 1,1 mm Durchmesser oder 0,96 qmm Querschnitt bewickelt. Die Wicklung besteht hier aus sieben Abschnitten mit folgenden Werten:

Abteilung	Widungs-zahl	Wider-stand
0 bis 1	1723	37,1 Ohm
0 » 2	3513	83,8 »
0 » 3	5673	146,0 »
0 » 4	7509	203,7 »
0 » 5	9355	265,6 »
0 » 6	11369	340,4 »
0 » 7	13385	418,2 »

Die Kupferdrähte sind mit Baumwolle bewickelt und schellackiert. Die einzelnen Lagen der Spulen sind gegeneinander durch eine doppelte Schicht von imprägniertem Papier isoliert. Bei den geringen Durchmessern der *Cu*-Drähte sind keine merklichen Wirbelstromverluste zu befürchten.

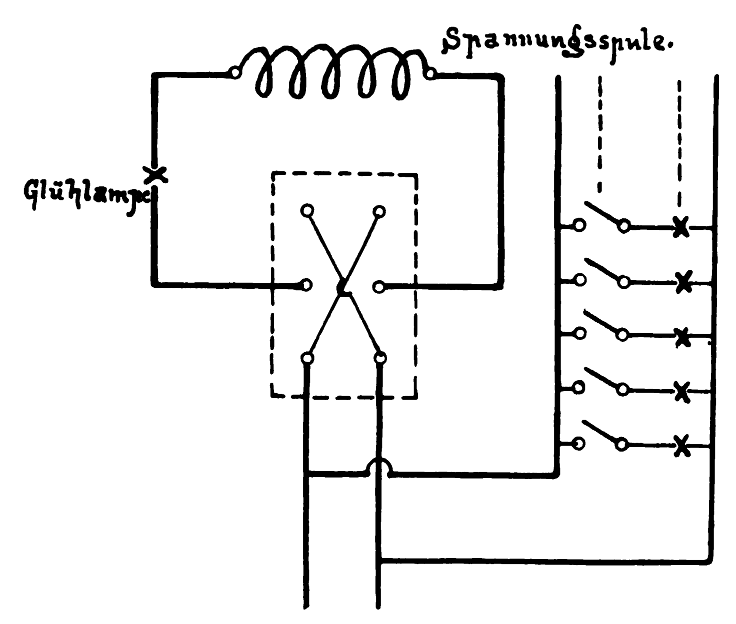
Wenn die Verluste im Kondensator und in der Induktionsspule gemeinsam gemessen werden, stets Resonanz vorausgesetzt, muß das Wattmeter unempfindlicher gemacht werden, da die Ausschläge selbst bei einem Vorschaltwiderstand von 295 000 Ohm vor der Spannungsspule bei höheren Spannungen über die Skala hinausgehen. Dieses geschieht durch Parallelschaltung eines veränderlichen Widerstandes zur Spannungsspule. Es zeigte sich aber bald, daß bei gleicher Stromstärke und Spannung am Kondensator die Ergebnisse bei verschiedenen Nebenschlußwiderständen zur Spannungsspule des Wattmeters verschieden waren.

Die geringe Selbstinduktion der Spannungsspule des Wattmeters ist also nicht, wie zuerst angenommen wurde, vernachlässigbar. Die Phasenverschiebung zwischen den Strömen in der Spannungsspule und im Nebenschlußwiderstand zu derselben muß möglichst aufgehoben werden.

Zu diesem Zwecke wollen wir der Spannungsspule eine elektrische Glühlampe vorschalten und den Nebenschluß, ebenfalls aus Glühlampen bestehend, der Reihen-

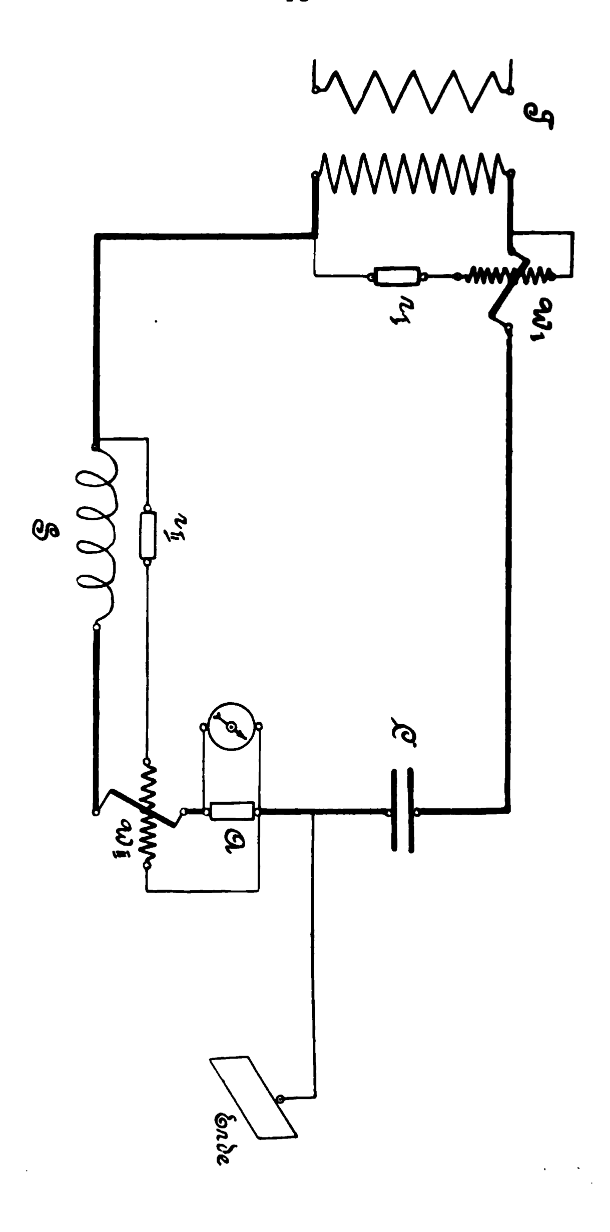
schaltung von Spannungsspule und Glühlampe parallel schalten, wie aus nachstehendem Schema ersichtlich ist.

Zahlreiche Messungen haben ergeben, daß nunmehr die Selbstinduktion der Spannungsspule tatsächlich vernachlässigbar wird. Bei der Auswahl der Glühlampen wurde darauf geachtet, daß zur Vorschaltung eine Lampe mit etwas geringerem Widerstand genommen wurde, so

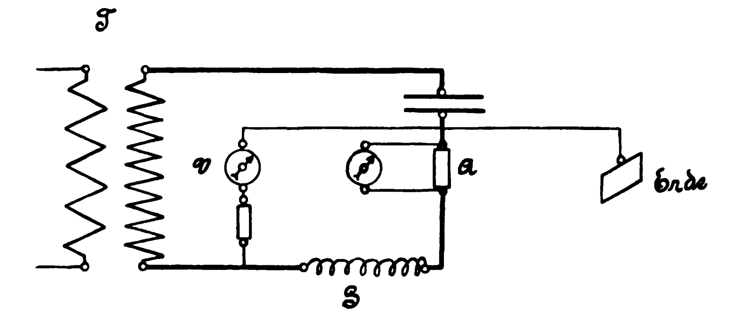


daß der Gesamtwiderstand von Spannungsspule und vorgeschalteter Lampe gleich dem Widerstand der einzelnen parallel geschalteten Lampen war. Es braucht dann die Eichung des Wattmeters nur für die Nebenschaltung $= \infty$, d. h. ohne parallel geschaltete Lampen ausgeführt zu werden. Schaltet man eine Anzahl Lampen, z. B. n, parallel, so ist die Wattmeterkonstante mit $(n + 1)$ zu multiplizieren.

Eine Anzahl von Messungen hatten ergeben, daß in der Induktionsspule noch ein anderer Verlust als der durch Ohmschen Widerstand verursachte vorhanden sein muß.


Erde

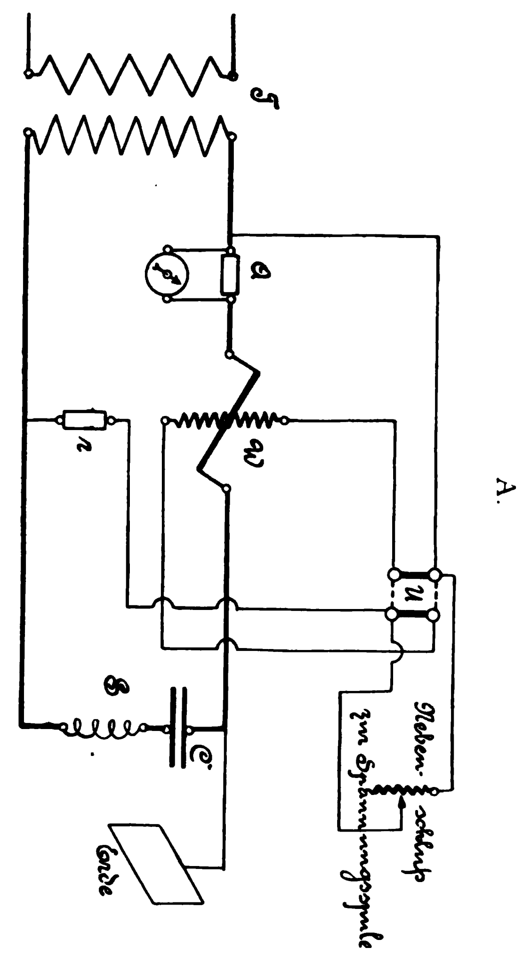
Da eine Bestimmung des Ohmschen Widerstandes mit sehr hoher Periodenzahl $\nu = 200$ kaum eine Zunahme des Widerstandes durch Wirbelströme im Kupfer ergeben hatte, so bleibt als Erklärung für den zusätzlichen Verlust in der Spule nur die Annahme dielektrischer Verluste im Isoliermaterial übrig. Widerstandszunahme durch Erwärmung war auch nicht zu bemerken. Es muß deshalb versucht werden, die Verluste in der Spule direkt zu messen. Bei der direkten Messung der Kondensatorverluste mittels des Wattmeters bestand zwischen den Strömen in der Strom- und Spannungsspule eine Phasenverschiebung



von ungefähr 90°. Wir haben dabei beobachtet, daß der Ausschlag des Wattmeters sehr stark durch den Nebenschlußwiderstand zum Kondensator beeinflußt wurde. Es soll deshalb untersucht werden, ob bei der Messung des reinen Verlustes in der Induktionsspule nach nebenstehender Schaltung (S. 18) dieselbe Beobachtung gemacht wird. Auch hier besteht zwischen den Strömen in der Strom- und Spannungsspule eine Phasenverschiebung von nahezu 90°, aber im entgegengesetzten Sinne wie beim Kondensator.

Die jeweils an der Spannungsspule herrschende Spannung wird nach der obenstehenden Schaltung gemessen. Aus mehreren Ablesungen am Volt- und Amperemeter kann man eine Konstante rechnen, nämlich die Impedanz, mit welcher bei der ersten Messung die Stromstärken multipliziert werden müssen, um die Spannungen zu erhalten.

Messungen mit verschiedenen Nebenschlußwiderständen zur Induktionsspule haben ergeben, daß hier der

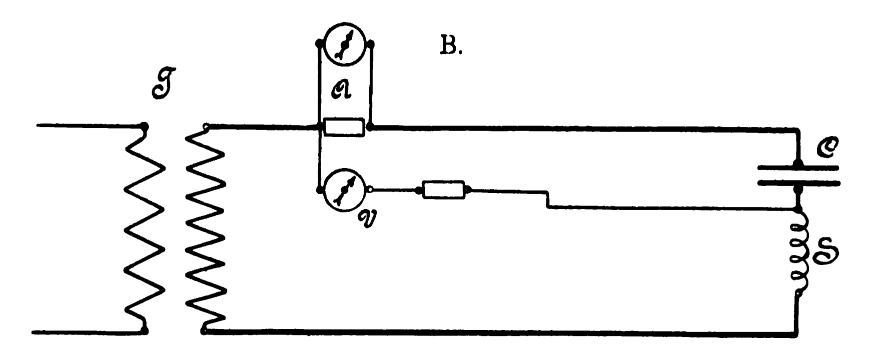


Nebenschlußwiderstand keinen Einfluß auf das Resultat ausübt. Wir können demnach die Messung des Energieverbrauchs von Kondensator und Induktionsspule in Resonanzschaltung ausführen und die mit dem Wattmeter

in der letzteren direkt gemessenen Verluste, natürlich für die entsprechenden Stromstärken, abziehen, ohne einen merklichen Fehler zu begehen.

Der Vorgang der Messung ist nun folgender:

Zuerst wird der Energieverbrauch im Amperemeter A, in der Stromspule des Wattmeters W, im Kondensator C und in der Induktionsspule S nach nebenstehender Schaltung A gemessen. Die Spannung am Kondensator wird durch Multiplikation der Stromstärke mit einer Konstanten (Konst.) berechnet, die wiederum aus einer getrennten Messung nach Schaltung B erhalten wird.



Dann wird nach Schaltung Seite 18 der Energieverbrauch in dem Amperemeter A, in der Stromspule des Wattmeters W und in der Induktionsspule S bestimmt und von dem Gesamtenergieverbrauch abgezogen. Die Spannung an der Induktionsspule wird nach Schaltung Seite 19 besonders bestimmt.

Die zur Untersuchung kommenden Kabel sollen zuerst kurz besprochen und deren Isolations- und Kapazitätswerte, mit Gleichstrom von 120 Volt gemessen, angegeben werden.

Die Messung des Isolierwiderstandes geschah nach der Methode des direkten Ausschlages im Vergleich mit einem Drahtwiderstand von 1 000 000 Ohm und nach einer Dauer der Elektrisierung von 1 Minute, wie üblich. Die Bestimmung der Kapazität wurde ballistisch durch

Vergleich mit Normalkondensatoren von 0,1; 0,2; 0,5 und 1,0 Mikrofarad vorgenommen.

Der Einfachheit halber sollen die einzelnen Kabel mit Buchstaben bezeichnet werden.

1. *M* Verseiltes Dreileiterkabel. Vorhanden sind drei Längen zu je 300 m. 3 × 25 qmm Querschnitt. Isolationsdicke Leiter gegen Leiter sowie Leiter gegen Bleimantel 7,2 mm.

   Isolationswiderstand: 4200 Meg.
   Kapazität: 0,086 Mi.

   Gemessen wurden stets alle Leiter zusammen gegen den Bleimantel.

2. *T* Konzentrisches Zweileiterkabel von 2 × 300 qmm Querschnitt und 200 m Länge. Die Isolationsdicke beträgt zwischen Außen- und Innenleiter sowie zwischen Außenleiter und Blei 2,83 mm.

   Wir wollen bezeichnen:

2a. T_I Innen- gegen Außenleiter.
   Isolationswiderstand = 710 Meg.
   Kapazität: 0,134 Mi.

2b. T_{II} Außenleiter gegen Blei.
   Isolationswiderstand: 1250 Meg.
   Kapazität: 0,213 Mi.

3. *S* Einfachkabel von 50 qmm Querschnitt bei 95 m Länge. Isolationsdicke 2 mm.
   Isolationswiderstand: 7 Meg.
   Kapazität: 0,524 Mi.

(Die Kapazitätsmessung durch ballistischen Ausschlag ist bei Kabeln mit geringem Isolationswiderstand sehr unzuverlässig.)

4. *Rh* Verseiltes Vierleiterkabel von 150 m Länge und 4 × 25 qmm Querschnitt. Isolationsdicke Leiter gegen Leiter und Leiter gegen Blei 10 mm. Gemessen wurden stets alle Leiter zusammen gegen den Bleimantel.
   Isolationswiderstand: 5500 Meg.
   Kapazität: 0,0607 Mi.

5. R_I Einfachkabel von 270 qmm Querschnitt und 284 m Länge. Isolationsdicke zwischen Kupferseele und Bleimantel 5 mm.
Isolationswiderstand; 169 Meg.
Kapazität: 0,164 Mi.

6. R_{II} Einfachkabel von 270 qmm Querschnitt und 308 m Länge. Isolationsdicke zwischen Kupferseele und Bleimantel 2 mm.
Isolationswiderstand: 44 Meg.
Kapazität: 0,358 Mi.

Es sollen an den vorhandenen Kabeln, die sich im Freien befinden und teils auf Trommeln aufgewickelt, teils auf dem Erdboden ausgelegt sind, Verlustmessungen nach der erläuterten Methode vorgenommen werden. Bei der Angabe der Messungen in Tabellen wollen wir zwei Kolumnen für cos φ und $\mathfrak{C}$ einfügen. cos φ ist erhalten durch Division des reinen Kondensatorverlustes W_K durch das Produkt aus Stromstärke und Spannung am Kabel $J_c \cdot E_c$.

Der Wert $\mathfrak{C}$ ist aus folgender Beziehung berechnet

$$\mathfrak{C} = \frac{W_K \cdot 10^6}{E_c^2 \nu C}.$$

Über die Beziehung dieser Größen zueinander ist anfangs schon gesprochen worden. Die Temperatur der Kabel betrug bei den verschiedenen Versuchsreihen 15 bis 18° C.

Die Messungen wurden mit verschiedenen Periodenzahlen vorgenommen, welche mittels Frequenzmessers nach Hartmann-Kempf bestimmt wurden.

Aus der Messung nach Schema B S. 21 wird eine Konstante (Konst.) berechnet, mit welcher jedesmal die Stromstärke J_c multipliziert werden muß, um die Spannung E_c am Kondensator zu erhalten. Mit Hilfe dieser Konstanten läßt sich dann die Kapazität des Kabels berechnen nach der Beziehung:

$$C = \frac{10^6}{2\pi \cdot \nu \text{Konst.}_{\text{Mittel}}} \text{ Mikrofarad.}$$

Wir wollen jetzt die Ergebnisse der Messungen mit verschiedenen Periodenzahlen bei konstanter Temperatur folgen lassen.

Periodenzahl $\nu = 39$.

1. $2 \times M$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	1750	1930	5,74	2,73	3,01	0,0252	0,159
0,1084	2780	3000	13,80	7,09	6,71	0,0222	0,140
0,1484	3800	4125	26,10	13,50	12,60	0,0224	0,141
0,1950	5000	5440	44,50	22,95	21,55	0,0221	0,139
0,2450	6270	6830	68,20	35,00	33,20	0,0216	0,136
0,2950	7560	—	99,00	50,80	48,20	0,0216	0,136

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0225, \quad \mathfrak{C} = 0{,}142.$$

E_c	J_c	Konst.
1755	0,0684	25 700
2780	0,1084	25 600
3780	0,1484	25 400
5030	0,1950	25 700

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 25\,600, \quad C = 0{,}159 \text{ Mi.}$$

2. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,145	1790	1855	13,97	7,83	6,14	0,0236	0,148
0,245	3020	3100	38,70	22,95	15,75	0,0213	0,134
0,345	4250	4360	73,60	44,70	28,90	0,0198	0,124
0,442	5420	5570	120,00	71,90	48,10	0,0200	0,127
0,542	6680	6770	179,00	105,20	73,80	0,0204	0,128
0,642	7920	—	253,00	147,70	105,30	0,0207	0,130

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}021. \quad \mathfrak{C} = 0{,}132.$$

E_c	J_c	Konst.
3035	0,245	12 400
4280	0,345	12 400
5410	0,442	12 250
6650	0,542	12 250

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 12\,325.$$
$$C = 0{,}331 \text{ Mi.}$$

3. T_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	𝕮
0,0684	2200	1930	6,48	2,73	3,75	0,0249	0,156
0,0884	2850	2500	10,65	4,79	5,86	0,0232	0,145
0,1084	3490	3000	15,58	7,09	8,49	0,0224	0,140
0,1284	4130	3560	22,20	9,92	12,28	0,0232	0,145
0,1484	4780	4125	28,40	13,50	14,90	0,0210	0,132
0,1684	5430	—	37,95	17,50	20,45	0,0224	0,140
0,1884	6070	—	48,30	21,40	26,90	0,0235	0,147

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0229.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}144.$$

E_c	J_c	Konst.
2210	0,0684	32 400
2850	0,0884	32 300
4120	0,1284	32 100
5380	0,1684	32 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 32\,200.$$
$$C = 0{,}127 \text{ Mi.}$$

4. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1084	2170	2340	11,4	6,35	5,05	0,0215	0,134
0,1484	2970	3210	20,7	11.53	9,17	0,0208	0,130
0,195	3900	4220	36,0	19,84	16,16	0,0213	0,133
0,245	4900	5290	56,3	31,00	25,00	0,0208	0,131
0,295	5900	6370	80,7	44,60	36,10	0,0208	0,130
0,345	6900	7450	119,2	60,75	48,45	0,0203	0,128

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0209.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}131.$$

E_c	J_c	Konst.
2165	0,1084	20 000
2960	0,1484	19 900
4920	0,2450	20 100
6910	0,3450	20 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 20000.$$
$$C = 0{,}204 \text{ Mi.}$$

Um die Kabel M, Rh und S zu untersuchen, müssen mehrere derselben bei der Messung parallel geschaltet werden, da für ein Kabel die vorhandene Selbstinduktion für die niedrige Periodenzahl $c = 39$ zur Bildung von Resonanz nicht ausreichend ist.

5. M und Rh.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	2050	1930	6,01	2,73	3,28	0,0234	0,147
0,0884	2650	2500	10,05	4,79	5,26	0,0224	0,141
0,1084	3270	3000	15,10	7,09	8,01	0,0226	0,141
0,1284	3850	3560	21,20	9,92	11,28	0,0228	0,144
0,1484	4450	4125	28,40	13,50	14,90	0,0226	0,142
0,1700	5100	4750	37,40	17,80	19,60	0,0226	0,142
0,1950	5850	5440	48,90	22,95	25,95	0,0228	0,143
0,2200	6600	6140	62,50	28,90	33,60	0,0232	0,145
0,2450	7350	6830	75,90	35,00	40,90	0,0227	0,143

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0228.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}143.$$

E_c	J_c	Konst.
2060	0,0684	30 200
3260	0,1084	30 000
4380	0,1484	29 500
5900	0,1950	30 200

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 29980.$$
$$C = 0{,}136 \text{ Mi.}$$

6. *M*, *Rh* und *S*, parallel geschaltet.

J_e	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0684	1530	1480	6,0	2,56	3,44	0,0329	0,206
0,1084	2420	2340	14,7	6,35	8,35	0,0318	0,200
0,1484	3320	3210	27,4	11,53	15,87	0,0322	0,201
0,1950	4360	4220	49,5	19,84	29,66	0,0349	0,219
0,2450	5480	5290	74,0	31,00	43,00	0,0320	0,201
0,2950	6600	6370	110,6	44,60	66,00	0,0339	0,212

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}033.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}207.$$

E_c	J_c	Konst.
2420	0,1084	22 300
3300	0,1484	22 200
4380	0,1950	22 400
5500	0,2450	22 400

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 22350.$$
$$C = 0{,}183 \text{ Mi.}$$

7. R_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	1920	1930	5,0	2,73	2,27	0,0173	0,1090
0,0884	2490	2500	8,5	4,79	3,71	0,0169	0,1060
0,1084	3050	3000	12,5	7,09	5,41	0,0164	0,1030
0,1284	3620	3560	17,7	9,92	7,78	0,0167	0,1050
0,1484	4180	4125	23,0	13,50	9,50	0,0153	0,0965
0,1700	4790	4750	31,7	17,80	13,90	0,0171	0,1080
0,1950	5490	5440	40,8	22,95	17,85	0,0167	0,1050
0,2200	6200	6140	53,3	28,90	24,40	0,0179	0,1120
0,2450	6900	6830	64,2	35,00	29,20	0,0173	0,1090

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0168.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}106.$$

E_c	J_c	Konst.
2490	0,0884	28 200
3620	0,1284	28 200
4160	0,1484	28 000
5530	0,1950	28 300

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 28\,180.$$
$$C = 0{,}145 \text{ Mi.}$$

8. R_{II},

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,145	1820	1855	12,53	7,83	4,70	0,0178	0,1110
0,245	3080	3100	35,60	22,95	12,65	0,0168	0,1050
0,345	4330	4360	67,90	44,70	23,20	0,0155	0,0975
0,442	5550	5570	112,00	71,90	40,10	0,0163	0,1020
0,542	6810	6770	163,20	105,20	58,00	0,0157	0,0990

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0164.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}103.$$

E_c	J_c	Konst.
3080	0,245	12 570
4330	0,345	12 550
5530	0,442	12 500
6800	0,542	12 530

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 12 540.
C = 0,326 Mi.

Es sollen jetzt aus den Versuchsreihen 1, 5 und 6 die Energieverluste in den einzelnen Kabeln M, Rh und S berechnet werden.

Aus der Versuchsreihe 1 ergeben sich die Verluste für M für die Spannungen E_c durch Division der Werte W_K durch 2. Ferner berechnen wir für die in Versuch 5 angegebenen Spannungen E_c mit der aus 1 gefundenen Konstanten $\mathfrak{C} = 0,142$ die Verluste von 2 M, dividieren dieselben durch 2 und ziehen die erhaltenen Werte von W_K aus Versuch 5 ab. Wir erhalten dann die Energieverluste in Rh allein.

E_c	W_{m+Rh}	W_{2m}	W_m	W_{Rh}
2050	3,28	3,70	1,85	1,43
2650	5,26	6,20	3,10	2,16
3270	8,01	9,40	4,70	3,31
3850	11,28	13,00	6,50	4,78
4450	14,90	17,46	8,73	6,17
5100	19,60	22,90	11,45	8,15
5850	25,95	30,10	15,05	10,90
6600	33,60	38,40	19,02	14,40
7350	40,90	47,60	23,80	17,10

Zur Berechnung der Verluste in Kabel S bestimmen wir mittels der aus 5 gefundenen Konstanten $\mathfrak{C} = 0,143$ für die Kabel M und Rh zusammen die Verluste in diesen für die Spannungen E_c der Versuchsreihe 6. Es ergibt sich:

E_c	W_{m+Rh+S}	W_{m+Rh}	W_S
1530	3,44	1,77	1,67
2420	8,35	4,44	3,91
3320	15,87	8,35	7,52
4360	29,66	14,40	15,26
5480	43,00	22,70	20,30
6600	66,00	33,00	33,00

Wir wollen jetzt aus den Versuchsreihen 1, 5 und 6 die charakteristischen Werte C, $\cos\varphi$ und $\mathfrak{C}$ für die Einzelkabel berechnen.

Kapazitäten:

a) $$C_{2m} = 0{,}159.$$

Also:

$$C_m = 0{,}0795 \text{ Mi.}$$

b) $$C_{m+Rh} = 0{,}136$$
$$C_m = 0{,}795$$
$$C_{Rh} = 0{,}0565 \text{ Mi.}$$

c) $$C_{m+Rh+S} = 0{,}183$$
$$C_{m+Rh} = 0{,}136$$
$$C_S = 0{,}047 \text{ Mi.}$$

Aus diesen Einzelkapazitäten können nunmehr die Werte von $\cos\varphi$ und $\mathfrak{C}$ für die einzelnen Kabel berechnet werden:

a) Selbstverständlich ist $\cos\varphi_{2m} = \cos\varphi_m = 0{,}0225$. Ferner

$$\mathfrak{C}_{2m} = \mathfrak{C}_m = 0{,}142.$$

b) Es ist $\cos\varphi_{m+Rh} = 0{,}0228$.

Da sich der Wert $\cos\varphi$ für $(M + Rh)$ aus denjenigen von (M) und (Rh) zusammensetzt, wobei die Einzelwerte nach der Größe der zugehörigen Kapazität in Rechnung kommen, so erhält man

$$C_m \cdot \cos\varphi_m + C_{Rh} \cdot \cos\varphi_{Rh} = C_{M+Rh} \cdot \cos\varphi_{M+Rh},$$

oder aus Obigem:

$$\cos \varphi_{Rh} = \frac{0{,}136 \cdot 0{,}0228 - 0{,}0795 \cdot 0{,}0225}{0{,}0565} = 0{,}0231$$

und entsprechend:

$$\mathfrak{C}_{Rh} = \frac{0{,}136 \cdot 0{,}143 - 0{,}0795 \cdot 0{,}142}{0{,}0565} = 0{,}144.$$

Weiterhin ist:

c) $$\cos \varphi_S = \frac{0{,}183 \cdot 0{,}033 - 0{,}136 \cdot 0{,}0228}{0{,}047} = 0{,}0646,$$

$$\mathfrak{C}_S = \frac{0{,}183 \cdot 0{,}207 - 0{,}136 \cdot 0{,}143}{0{,}047} = 0{,}392.$$

Es sollen jetzt die charakteristischen Zahlen für die einzelnen Kabel zusammengestellt werden:

Bezeichnung	C in Mi	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
M	0,0795	0,0225	0,142
T	0,3310	0,0210	0,132
T_I	0,1270	0,0229	0,144
T_{II}	0,2040	0,0209	0,131
S	0,0470	0,0646	0,392
Rh	0,0565	0,0231	0,144
R_I	0,1450	0,0168	0,106
R_{II}	0,3260	0,0164	0,103

Periodenzahl $\nu = 52$.

1. M.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0342	1360	1280	1,94	0,75	1,19	0,0256	0,161
0,0517	2060	1960	4,02	1,92	2,10	0,0197	0,124
0,0692	2760	2630	7,50	3,23	4,27	0,0224	0,139
0,0684	2730	—	7,46	3,16	4,30	0,0230	0,144
0,0884	3530	3330	11,65	5,11	6,54	0,0210	0,131
0,1084	4330	4070	17,67	7,09	10,58	0,0225	0,141
0,1284	5130	4800	24,80	10,73	14,07	0,0214	0,133
0,1484	5930	5540	33,10	13,78	19,32	0,0220	0,137
0,1684	6730	—	43,50	17,70	25,80	0,0228	0,142

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0223.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}139.$$

E_c	J_c	Konst.
1375	0,0342	40 250
2740	0,0692	39 600
3530	0,0884	40 000
5130	0,1284	39 900

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 39\,940.$$
$$C = 0{,}0772 \text{ Mi.}$$

2. $2 \times M$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0684	1340	1500	4,59	2,23	2,36	0,0258	0,161
0,1084	2120	2360	11,00	5,53	5,47	0,0238	0,149
0,1484	2900	3220	20,80	10,58	10,22	0,0237	0,149
0,195	3820	4220	36,05	17,53	18,52	0,0248	0,155
0,245	4790	5330	56,00	27,33	28,67	0,0244	0,153
0,295	5770	6380	78,30	39,40	38,90	0,0228	0,143
0,345	6750	—	105,80	53,90	51,90	0,0223	0,140

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0239.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}150.$$

E_c	J_c	Konst.
2100	0,1084	19 350
2880	0,1484	19 370
3830	0,1950	19 650
4850	0,2450	19 800

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 19\,540.$$
$$C = 0{,}157 \text{ Mi.}$$

3. *M* und *Rh.*

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0684	1570	1500	4,93	2,23	2,70	0,0252	0,156
0,1084	2480	2360	12,14	5,53	6,61	0,0245	0,153
0,1484	3400	3220	22,10	10,58	11,52	0,0228	0,143
0,1950	4460	4220	38,90	17,53	21,37	0,0245	0,153
0,2450	5600	5330	61,60	27,33	34,27	0,0250	0,156
0,2950	6750	6380	86,60	39,40	47,20	0,0237	0,148

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0243.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}152.$$

E_c	J_c	Konst.
2470	0,1084	22 750
3370	0,1484	22 650
4470	0,1950	22 900
5680	0,2450	23 200

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 22\,880.$$
$$C = 0{,}134 \text{ Mi.}$$

4. *M* und *S.*

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0684	1700	1500	6,49	2,23	4,26	0,0367	0,230
0,1084	2710	2360	15,90	5,53	10,37	0,0353	0,220
0,1484	3710	3220	30,60	10,58	20,02	0,0364	0,228
0,1950	4860	4220	54,70	17,53	37,17	0,0392	0,246
0,2450	6120	5330	85,40	27,33	58,07	0,0388	0,243
0,2950	7360	6380	128,80	39,40	89,40	0,0412	0,258

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0379.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}238.$$

E_c	J_c	Konst.
2690	0,1084	24 800
3690	0,1484	24 800
4910	0,1950	25 200
6130	0,2450	25 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 24950.$$
$$C = 0{,}123 \text{ Mi.}$$

5. *Rh* und *S*.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0342	1010	980	2,16	0,81	1,35	0,0392	0,246
0,0692	2050	2010	8,30	2,90	5,40	0,0380	0,238
0,1084	3220	3130	20,20	6,68	13,52	0,0387	0,242
0,1284	3810	3680	28,90	9,25	19,65	0,0401	0,250
0,1484	4400	4280	38,90	12,27	26,63	0,0408	0,255
0,1684	4990	4820	50,30	15,86	34,44	0,0410	0,257
0,1884	5590	5420	63,90	19,64	44,26	0,0420	0,263

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}04.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}25.$$

E_c	J_c	Konst.
2050	0,0692	29 600
3210	0,1084	29 600
3800	0,1284	29 600
4410	0,1484	29 700

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 29630.$$
$$C = 0{,}104 \text{ Mi.}$$

Wir wollen jetzt wie auf Seite 30 die charakteristischen Werte aus den Versuchsreihen 3, 4 und 5 für die Einzelkabel berechnen.

Zuerst berechnen wir die Kapazitäten.

Wir haben:

a)
$$C_{m+Rh} = 0{,}134$$
$$C_{m+S} = 0{,}123$$
$$C_{Rh+S} = 0{,}104$$

Daraus folgt:

$$C_m = 0{,}0765$$
$$C_{Rh} = 0{,}0575$$
$$C_S = 0{,}0465$$

b) Für die Berechnung von $\cos\varphi$ und $\mathfrak{C}$ setzen wir die nachfolgenden Gleichungen an:

$$0{,}0765 \cos\varphi_m + 0{,}0575 \cos\varphi_{Rh} = 0{,}134 \cos\varphi_{m+Rh}$$
$$0{,}0765 \cos\varphi_m + 0{,}0465 \cos\varphi_S = 0{,}123 \cos\varphi_{m+S}$$
$$0{,}0575 \cos\varphi_{Rh} + 0{,}0465 \cos\varphi_S = 0{,}104 \cos\varphi_{Rh+S}.$$

Daraus finden wir:

$$\cos\varphi_m = 0{,}0246$$
$$\cos\varphi_{Rh} = 0{,}0239$$
$$\cos\varphi_S = 0{,}0599$$

c) Weiterhin ist:

$$0{,}0765\, \mathfrak{C}_m + 0{,}0575\, \mathfrak{C}_{Rh} = 0{,}134\, \mathfrak{C}_{m+Rh}$$
$$0{,}0765\, \mathfrak{C}_m + 0{,}0465\, \mathfrak{C}_S = 0{,}123\, \mathfrak{C}_{m+S}$$
$$0{,}0575\, \mathfrak{C}_{Rh} + 0{,}0465\, \mathfrak{C}_S = 0{,}104\, \mathfrak{C}_{Rh+S}$$

und daraus ergeben sich:

$$\mathfrak{C}_m = 0{,}154,$$
$$\mathfrak{C}_{Rh} = 0{,}149,$$
$$\mathfrak{C}_S = 0{,}353.$$

Zur Bestimmung der charakteristischen Werte für m liegen aber auch noch die Versuchsreihen 1 und 2 vor, Aus diesen drei Ergebnissen berechnen sich die mittleren Werte für m.

$$\mathfrak{C}_m = 0{,}0772.$$
$$\cos\varphi_m = 0{,}0236$$
$$\mathfrak{C}_m = 0{,}148$$

6. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,145	1385	1215	8,98	4,66	4,32	0,0215	0,135
0,245	2340	2075	25,70	13,08	12,62	0,0220	0,138
0,345	3295	2940	50,80	25,80	25,00	0,0220	0,138
0,445	4250	3750	81,90	41,90	40,00	0,0212	0,133
0,542	5180	4610	122,60	59,20	63,40	0,0226	0,142
0,642	6130	5500	172,50	83,80	88,70	0,0226	0,141
0,742	7090	6320	226,00	110,70	115,30	0,0220	0,137

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}022.$$
$$\mathfrak{C} = 138.$$

E_c	J_c	Konst.
1390	0,145	9580
2330	0,245	9520
5190	0,542	9580
6160	0,642	9590

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 9570.$$
$$C = 0{,}322 \text{ Mi.}$$

7. T_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,0684	1680	1500	4,86	2,23	2,63	0,0229	0,143
0,1084	2670	2360	12,42	5,53	6,89	0,0238	0,149
0,1484	3660	3220	23,10	10,58	12,52	0,0231	0,144
0,1950	4800	4220	39,70	17,53	22,17	0,0237	0,148
0,2450	6030	5330	61,70	27,33	34,37	0,0233	0,145
0,2950	7270	6380	90,30	39,40	50,90	0,0238	0,148

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0234.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}146.$$

E_c	J_c	Konst.
1680	0,0684	24 600
2670	0,1084	24 600
4820	0,1950	24 700
7250	0,2950	24 600

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 24630.$$
$$C = 0{,}125 \text{ Mi.}$$

8. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,145	2230	1910	14,35	7,43	6,92	0,0214	0,134
0,195	3000	2590	25,75	13,22	12,55	0,0215	0,134
0,245	3770	3220	41,10	20,80	20,30	0,0220	0,137
0,295	4530	3900	59,50	30,10	29,40	0,0220	0,138
0,345	5310	4520	80,00	40,50	39,50	0,0216	0,135
0,395	6070	5190	105,40	53,00	52,40	0,0219	0,137
0,445	6850	5850	134,00	67,10	66,90	0,0219	0,138

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0219.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}136.$$

E_c	J_c	Konst.
2240	0,145	15 450
3020	0,195	15 450
3750	0,245	15 300
4520	0,295	15 300

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15375.$$
$$C = 0{,}200 \text{ Mi.}$$

9. R_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,0684	1470	1500	3,98	2,23	1,75	0,0174	0,109
0,1084	2335	2360	10,00	5,53	4,47	0,0177	0,110
0,1484	3200	3220	18,20	10,58	7,62	0,0160	0,100
0,1950	4200	4220	31,45	17,53	13,92	0,0170	0,106
0,2450	5270	5330	49.00	27,33	21,67	0,0168	0,105
0,2950	6350	6380	71,50	39,40	32,10	0,0171	0,107

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}017.$$
$$𝕮 = 0{,}106.$$

E_c	J_c	Konst.
1475	0,0684	21 600
2320	0,1084	21 400
4220	0,1950	21 650
6330	9,2950	21 450

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 21530.$$
$$C = 0{,}143 \text{ Mi.}$$

10. R_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,145	1400	1215	8,18	4,66	3,52	0,0173	0,1080
0,245	2360	2075	22,75	13,08	9,67	0,0167	0,1050
0,345	3330	2940	44,70	25,80	18,90	0,0164	0,1030
0,445	4290	3750	72,10	41,90	30,20	0,0158	0,0995
0,542	5220	4610	107,70	59,20	48,50	0,0171	0,1080
0,642	6200	5500	153,20	83,80	69,40	0,0175	0,1090
0,742	7160	6320	207,60	110,70	96,90	0,0182	0,1140

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}017.$$
$$𝕮 = 0{,}107.$$

E_c	J_c	Konst.
1400	0,145	9650
2370	0,245	9670
5225	0,542	9650
6200	0,642	9650

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 9660.$$
$$C = 0{,}319 \text{ Mi.}$$

Wir wollen nun, wie am Schlusse der Messungen mit der Periodenzahl $\nu = 39$, auch für die vorstehenden Messungen mit $\nu = 52$ eine Zusammenstellung der charakteristischen Zahlen bringen.

Bezeichnung	C in Mi	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
M	0,0772	0,0236	0,148
T	0,322	0,022	0,138
T_I	0,125	0,0234	0,146
T_{II}	0,200	0,0219	0,136
S	0,0465	0,0599	0,353
Rh	0,0575	0,0239	0,149
R_I	0,143	0,017	0,106
R_{II}	0,319	0,017	0,107

Periodenzahl $\nu = 72$.

1. M.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0342	940	1010	1,54	0,75	0,79	0,0245	0,154
0,0692	1900	2110	6,00	2,96	3,04	0,0231	0,146
0,1084	2980	3270	14,05	6,68	7,37	0,0228	0,144
0,1484	4080	4490	26,90	12,48	14,42	0,0238	0,150
0,1884	5180	5700	43,35	19,16	24,19	0,0248	0,151
0,1950	5360	—	45,35	20,54	24,81	0,0237	0,149
0,2450	6740	—	71,00	32,37	38,63	0,0234	0,147

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0237.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}149.$$

E_c	J_c	Konst.
1905	0,0692	27 500
4020	0,1484	27 100
6870	0,2450	28 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 27500.$$
$$C = 0{,}0803 \text{ Mi.}$$

2. $3 \times M$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,145	1325	1280	9,17	4,87	4,30	0,0224	0,141
0,245	2240	2125	25,20	13,16	12,04	0,0220	0,138
0,345	3160	2980	50,30	25,64	24,66	0,0226	0,143
0,445	4070	3820	82,10	42,75	39,35	0,0218	0,137
0,542	4960	4680	115,60	60,60	55,00	0,0205	0,128
0,642	5880	5510	162,40	82,90	79,50	0,0211	0,133
0,742	6790	6300	214,50	109,00	105,50	0,0209	0,131

Im Mittel:

$$\cos.\ \varphi = 0{,}0216.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}136.$$

E_c	J_c	Konst.
2220	0,245	9060
3140	0,345	9100
4910	0,542	9080
6950	0,742	9380

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 9150.$$
$$C = 0{,}242.$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,245	1610	1770	20,5	11,89	8,61	0,0218	0,137
0,345	2270	2470	39,9	23,37	16,53	0,0211	0,132
0,445	2930	3190	65,9	38,47	27,43	0,0210	0,132
0,542	3560	3885	92,6	53,35	39,25	0,0204	0,128
0,642	4220	4600	128,2	73,55	54,65	0,0202	0,127
0,742	4880	5310	174,0	79,90	76,10	0,0211	0,132
0,842	5540	6015	221,0	124,80	96,20	0,0207	0,130
0,942	6200	—	279,0	156,00	123,00	0,0211	0,132

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0209.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}131.$$

E_c	J_c	Konst.
1610	0,245	6560
2280	0,345	6590
3560	0,542	6570
4890	0,742	6610

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6580.$$
$$C = 0{,}337 \text{ Mi.}$$

4. T_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	1195	1255	4,09	1,96	2,09	0,0256	0,160
0,1084	1895	1960	9,86	5,00	4,86	0,0237	0,148
0,1450	2535	2670	18,55	8,44	10,11	0,0275	0,172
0,1950	3410	3550	31,72	15,25	16,47	0,0247	0,155
0,2450	4280	4470	50,40	23,75	26,65	0,0254	0,159
0,2950	5160	5370	69,70	34,65	35,15	0,0231	0,144
0,3450	6030	6290	96,20	47,10	49,10	0,0236	0,144
0,3950	6910	—	127,50	61,80	65,70	0,0241	0,151

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0247.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}154.$$

E_c	J_c	Konst.
1185	0,0684	17 330
1888	0,1084	17 400
4300	0,2450	17 550
6090	0,3450	17 650

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 17480.$$
$$C = 0,127 \text{ Mi.}$$

5. T_{II}.

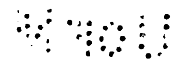
J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,0684	720	790	2,38	1,28	1,10	0,0225	0,141
0,1450	1530	1695	10,31	5,47	4,84	0,0218	0,137
0,2450	2585	2860	29,57	15,45	14,12	0,0223	0,140
0,3450	3640	4005	58,45	30,00	28,45	0,0226	0,142
0,4450	4695	5160	93,00	50,10	42,90	0,0205	0,129
0,5420	5720	6200	134,60	69,95	64,65	0,0208	0,130
0,6420	6770	—	190,60	98,20	92,40	0,0213	0,133

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0,0219.$$
$$𝕮 = 0,136.$$

E_c	J_c	Konst.
710	0,0684	10 400
2570	0,2450	10 490
3650	0,3450	10 590
5790	0,5420	10 680

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10540.$$
$$C = 0,21 \text{ Mi.}$$



6. *S.*

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕰
0,0342	1590	1390	4,05	0,88	3,17	0,0584	0,367
0,0517	2410	2090	8,98	1,90	7,08	0,0568	0,398
0,0692	3220	2780	16,20	3,37	12,83	0,0576	0,362
0,0884	4110	3550	26,73	4,93	21,80	0,0600	0,377
0,1084	5030	4330	41,60	7,28	34,32	0,0630	0,397
0,1284	5980	5120	61,30	10,26	51,04	0,0665	0,418
0,1484	6920	5930	81,00	13,56	67,44	0,0655	0,412

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0611.$$
$$𝕰 = 0{,}39.$$

E_c	J_c	Konst.
1595	0,0342	46 600
3240	0,0692	46 800
5020	0,1084	46 300
6940	0,1484	46 700

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 46\,600.$$
$$C = 0{,}0475 \text{ Mi.}$$

7. *Rh.*

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕰
0,0342	1280	1010	1,70	0,75	0,95	0,0217	0,136
0,0692	2590	2110	6,88	2,96	3,92	0,0219	0,137
0,1084	4065	3270	16,20	6,68	9,52	0,0213	0,133
0,1484	5560	4490	31,10	12,48	18,62	0,0226	0,141
0,1884	7060	5700	50,30	19,60	31,14	0,0234	0,146
0,1950	7310	—	53,45	20,54	32,91	0,0231	0,144

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0223.$$
$$𝕰 = 0{,}139.$$

E_c	J_c	Konst.
2575	0,0692	37 950
4035	0,1084	37 200
5480	0,1484	36 900
7390	0,1950	37 900

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 37\,490.$$
$$C = 0{,}0594 \text{ Mi.}$$

8. R_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	1035	1255	3,78	1,96	1,82	0,0256	0,161
0,1084	1645	1960	8,64	5,00	3,64	0,0204	0,128
0,1450	2200	2670	15,25	8,44	6,81	0,0214	0,134
0,1950	2955	3550	26,46	15,25	11,21	0,0195	0,122
0,2450	3715	4470	42,05	23,75	18,30	0,0201	0,126
0,2950	4475	5370	60,60	34,65	25,95	0,0197	0,123
0,3450	5230	6290	80,50	47,10	33,40	0,0185	0,116
0,3950	5990	—	106,60	61,80	44,80	0,0189	0,117
0,4450	6750	—	134,20	78,40	55,80	0,0189	0,117

Ohne die erste Messung, die ganz aus der Reihe der anderen herausfällt, ergibt sich im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0197.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}123.$$

E_c	J_c	Konst.
1025	0,0684	15 000
1635	0,1084	15 080
3770	0,2450	15 380
5240	0,3450	15 180

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15.160.$$
$$C = 0{,}146 \text{ Mi.}$$

9. R_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,145	980	—	6,26	4,16	2,10	0,0148	0,0922
0,245	1650	1770	18,00	11,89	6,11	0,0152	0,0948
0,345	2320	2470	35,40	23,37	12,03	0,0150	0,0946
0,445	3000	3190	58,60	38,47	20,13	0,0151	0,0941
0,542	3660	3885	80,50	53,35	27,15	0,0137	0,0856
0,642	4330	4600	114,00	73,55	40,45	0,0145	0,0910
0,742	5010	5310	152,30	97,90	54,40	0,0146	0,0914
0,842	5680	6015	195,00	124,80	70,20	0,0147	0,0920
0,942	6380	—	247,00	156,00	91,00	0,0152	0,0950

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0148.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}0923.$$

E_c	J_c	Konst.
1650	0,245	6740
2340	0,345	6790
3630	0,542	6760
5020	0,742	6770

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6750$$
$$C = 0{,}329 \text{ Mi}.$$

Wir wollen jetzt wieder die charakteristischen Zahlen der Versuchsreihen mit der Periodenzahl $\nu = 72$ zusammenstellen:

Bezeichnung	C in Mi	cos φ	$\mathfrak{C}$
M	0,0805	0,0227	0,1430
T	0,3370	0,0209	0,1310
T_I	0,1270	0,0247	0,1540
T_{II}	0,2100	0,0219	0,1360
S	0,0475	0,0611	0,3900
Rh	0,0594	0,0223	0,1390
R_I	0,1460	0,0197	0,1230
R_{II}	0,3290	0,0148	0,0923

Periodenzahl $\nu = 95$.

1. *M.*

J_c	E_c	E_S	W_S	W	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0684	1475	1640	4,66	2,38	2,28	0,0226	0,142
0,0884	1910	2115	7,66	3,82	3,84	0,0227	0,142
0,1084	2340	2600	11,40	5,80	5,60	0,0220	0,138
0,1284	2780	3060	15,90	8,01	7,89	0,0221	0,138
0,1484	3200	3540	21,85	10,20	11,65	0,0245	0,154
0,1950	4210	4700	37,50	17,10	20,40	0,0249	0,156
0,2450	5290	5810	59,10	27,00	32,10	0,0248	0,155
0,2950	6370	7070	82,10	37,80	44,30	0,0236	0,148

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0234$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}147$$

E_c	J_c	Konst.
1880	0,0884	21 300
2750	0,1284	21 400
4240	0,1950	21 800
6500	0,2950	22 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 21600.$$
$$C = 0{,}0779 \text{ Mi.}$$

2. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,292	1520	1820	24,5	13,6	10,9	0,0246	0,155
0,492	2570	3020	66,4	40,9	24,5	0,0202	0,127
0,692	3610	4190	125,0	75,3	49,7	0,0199	0,125
0,892	4660	5380	207,0	125,0	82,0	0,0197	0,123
1,084	5670	6530	306,0	179,0	127,0	0,0207	0,129
1,284	6710	—	417,0	251,0	166,0	0,0193	0,121

Ohne die erste Messung ergibt sich ein Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0200$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}125$$

E_c	J_c	Konst.
2560	0,492	5200
3610	0,692	5220
5670	1,084	5230
6750	1,284	5250

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 5225$$
$$C = 0{,}322 \text{ Mi.}$$

3. T_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
0,1114	1480	—	7,55	3,70	3,85	0,0233	0,146
0,145	1920	1950	13,22	5,95	7,27	0,0260	0,163
0,195	2585	2590	22,80	10,60	12,20	0,0242	0,151
0,245	3245	3270	35,75	16,25	19,50	0,0246	0,153
0,295	3910	3930	52,10	23,35	28,75	0,0250	0,156
0,345	4570	4530	68,10	31,85	36,25	0,0230	0,144
0,395	5235	5210	89,80	41,25	48,55	0,0235	0,147
0,445	5900	6170	111,20	52,20	59,00	0,0225	0,141

Im Mittel:

$$\cos \varphi = 0{,}0240.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}150.$$

E_c	J_c	Konst.
1420	0,1084	13 100
2625	0,1950	13 450
3920	0,2950	13 300
5170	0,3950	13 100

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 13\,240.$$
$$C = 0{,}127 \text{ Mi.}$$

4. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,145	1185	1120	8,11	4,25	3,86	0,0224	0,142
0,245	2000	1905	22,5	11,95	10,55	0,0215	0,135
0,345	2820	2670	43,2	23,1	20,1	0,0207	0,130
0,445	3640	3425	68,1	38,3	29,8	0,0184	0,116
0,542	4430	4190	101,0	54,4	46,6	0,0194	0,122
0,642	5250	4960	139,0	75,1	63,9	0,0190	0,119
0,742	6070	5710	193,5	98,6	94,9	0,0210	0,132
0,842	6890	6450	253,0	125,0	128,0	0,0221	0,138

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0206.$$
$$𝕮 = 0{,}129.$$

E_c	J_c	Konst.
1970	0,245	8050
2845	0,345	8250
4440	0,542	8200
6130	0,742	8250

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 8190.$$
$$C = 0{,}205 \text{ Mi.}$$

5. S.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝕮
0,0342	1220	1050	2,51	0,73	1,78	0,0428	0,286
0,0517	1840	1590	5,61	1,67	3,94	0,0415	0,260
0,0692	2470	2130	10,25	2,90	7,35	0,0430	0,270
0,0884	3160	2720	16,70	4,39	12,31	0,0441	0,276
0,1084	3870	3300	25,35	6,68	18,67	0,0445	0,278
0,1284	4590	3920	37,30	9,25	28,05	0,0476	0,298
0,1484	5300	4490	51,00	12,22	38,78	0,0493	0,308
0,1684	6020	5060	66,50	14,82	51,68	0,0510	0,318
0,1884	6730	5620	86,00	18,55	67,45	0,0531	0,332

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0463.$$
$$𝕮 = 0{,}292.$$

E_c	J_c	Konst.
1220	0,0342	35 800
2490	0,0692	36 000
3850	0,1084	35 500
5275	0,1484	35 500

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 35700.$$
$$C = 0{,}0472 \text{ Mi.}$$

6. *Rh.*

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0342	980	1050	1,72	0,73	0,99	0,0296	0,185
0,0517	1480	1590	3,53	1,67	1,86	0,0244	0,152
0,0692	1980	2130	5,98	2,90	3,08	6,0220	0,138
0,0884	2530	2720	9,56	4,39	5,17	0,0231	0,145
0,1084	3100	3300	14,00	6,68	7,32	0,0218	0,137
0,1284	3680	3920	19,70	9,25	10,45	0,0221	0,139
0,1484	4250	4490	27,80	12,22	15,58	0,0246	0,155
0,1684	4820	5060	34,60	14,82	19,78	0,0244	0,153
0,1884	5390	5620	44,30	18,55	25,75	0,0254	0,160

Mit Ausnahme des ersten Wertes, der wegen zu starker Abweichung nicht berücksichtigt werden soll, ergeben sich im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0235.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}147.$$

E_c	J_c	Konst.
980	0,0342	28 600
1990	0,0692	28 800
3090	0,1084	28 500
4250	0,1484	28 600

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 28600.$$
$$C = 0{,}0587 \text{ Mi.}$$

Zur Vergleichung der Ergebnisse sollen in der nachfolgenden Versuchsreihe die beiden Kabel *M* und *Rh* in Parallelschaltung gemeinsam gemessen werden.

7. *Rh* und *M*.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1084	1330	1430	7,03	3,51	3,52	0,0244	0,153
0,1450	1780	1950	12,80	5,95	5,85	0,0265	0,166
0,1950	2400	2590	22,10	10,60	11,50	0,0246	0,154
0,2450	3010	3270	35,40	16,25	19,15	0,0260	0,163
0,2950	3620	3930	50,25	23,35	26,90	0,0252	0,158
0,3450	4240	4530	63,30	31,85	31,45	0,0215	0,135
0,3950	4860	5210	87,50	41,25	46,25	0,0241	0,151
0,4420	5430	—	106,20	51,50	54,70	0,0228	0,144
0,5420	6670	—	157,80	77,30	80,50	0,0223	0,139

Im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0242.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}151.$$

E_c	J_c	Konst.
1320	0,1084	12150
2410	0,1950	12350
3630	0,2950	12300
4880	0,3950	12350

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 12290.$$
$$C = 0{,}137 \text{ Mi.}$$

Die Summe der Kapazitäten für *M* und *Rh*, welche aus den Versuchsreihen 1 und 6 gefunden wurden, ergibt, 0,1366, stimmt also mit dem obigen Wert 0,137 sehr gut überein.

8. R_I.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,145	1690	1950	11,73	5,95	5,78	0,0236	0,147
0,195	2280	2590	18,76	10,60	8,16	0,0184	0,114
0,245	2860	3270	29,60	16,25	13,35	0,0191	0,119
0,295	3440	3930	42,80	23,35	19,45	0,0192	0,120
0,345	4020	4530	58,00	31,85	26,15	0,0190	0,119
0,395	4610	5210	73,30	41,25	32,05	0,0176	0,110
0,442	5160	—	89,80	51,50	38,30	0,0168	0,105
0,542	6320	—	136,00	77,30	58,70	0,0171	0,107

Mit Ausnahme der augenscheinlich ausfallenden ersten Messung ergibt sich im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0182.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}117.$$

E_c	J_c	Konst.
2270	0,195	11650
3450	0,295	11700
5140	0,442	11600
6320	0,542	11700

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 11660.$$
$$C = 0{,}1444 \text{ Mi.}$$

9. R_{II}.

J_c	E_c	E_S	W	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,292	1550	1820	25,1	13,6	11,5	0,0254	0,159
0,492	2620	3020	68,2	40,9	27,3	0,0212	0,132
0,692	3680	4190	126,0	75,3	50,7	0,0200	0,125
0,892	4750	5380	213,5	125,0	88,5	0,0209	0,130
1,084	5770	6530	317,0	179,0	138,0	0,0221	0,138
1,284	6850	—	438,5	251,0	187,5	0,0213	0,133

Ohne die erste Messung ergibt sich im Mittel:

$$\cos\varphi = 0{,}0211.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}132.$$

E_c	J_c	Konst.
2610	0,492	5310
3680	0,692	5330
5780	1,084	5320
6870	1,284	5340

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 5325.$$
$$C = 0{,}316 \text{ Mi.}$$

Wir wollen auch hier wieder eine Zusammenstellung der charakteristischen Werte geben.

Bezeichnung	C in Mi	cos φ	𝕮
M	0,0779	0,0234	0,147
T	0,3220	0,0200	0,125
T_I	0,1270	0,0240	0,150
T_{II}	0,2050	0,0206	0,129
S	0,0472	0,0463	0,292
Rh	0,0587	0,0235	0,147
R_I	0,1444	0,0182	0,117
R_{II}	0,3160	0,0211	0,132

Vorerst sollen jetzt die charakteristischen Werte für die einzelnen Kabel mit Angabe der Periodenzahl nochmals zusammengestellt werden. Hierbei sollen auch die Werte für den Isolationswiderstand und die Kapazität, mit Gleichstrom gemessen, wie auf S. 22 und 23 angegeben, aufgeführt werden.

Wir haben dabei die Kabel nach der Art der verwendeten Tränkungsmasse in drei Klassen zu bringen, nämlich:

Klasse X, mit den Kabeln M, T, T_I, T_{II} und Rh,
Klasse Y, mit den Kabeln R_I und R_{II},
Klasse Z, mit dem Kabel S.

In der Klasse X besteht die Tränkungsmasse aus einer Mischung von Harz und Mineralöl. Bei Klasse Y besteht die Mischung aus etwas weniger Harz mit einem

Mineralöl als Petroleumdestillat bei sehr hoher Temperatur. Das Kabel *S* ist mit einer im Handel unter dem Namen Siderosten bekannten Masse getränkt.

In den nachfolgenden Tabellen bedeuten:

C .... Kapazität in Mikrofarad mit Wechselstrom gemessen.

C' .... Kapazität in Mi mit Gleichstrom gemessen.

Is .... Isolationswiderstand nach 1 Min. Elektrisierung in 1 000000 Ohm oder in Megohm.

Klasse X.

	I_s	C'	$\cos \varphi$	𝕮	C
M					
$c = 39$	4200	0,086	0,0225	0,142	0,0795
$c = 52$	»	»	0,0236	0,148	0,0772
$c = 72$	»	»	0,0227	0,143	0,0805
$c = 95$	»	»	0,0234	0,147	0,0779
T					
$c = 39$	450	0,347	0,0210	0,132	0,331
$c = 52$	»	»	0,0220	0,138	0,322
$c = 72$	»	»	0,0209	0,131	0,337
$c = 95$	»	»	0,0200	0,125	0,322
T_I					
$c = 39$	710	0,134	0,0229	0,144	0,127
$c = 52$	»	»	0,0234	0,146	0,125
$c = 72$	»	»	0,0247	0,154	0,127
$c = 95$	»	»	0,0240	0,150	0,127
T_{II}					
$c = 39$	1250	0,213	0,0209	0,131	0,204
$c = 52$	»	»	0,0219	0,136	0,200
$c = 72$	»	»	0,0219	0,136	0,210
$c = 95$	»	»	0,0206	0,129	0,205
Rh					
$c = 39$	5500	0,0607	0,0231	0,144	0,0565
$c = 52$	»	»	0,0239	0,149	0,0575
$c = 72$	»	»	0,0223	0,139	0,0594
$c = 95$	»	»	0,0235	0,147	0,0587

Klasse Y.

	I_s	C'	cos φ	$\mathfrak{C}$	C
R_I					
$c = 39$	169	0,164	0,0168	0,1060	0,145
$c = 52$	"	"	0,0170	0,1060	0,143
$c = 72$	"	"	0,0197	0,1230	0,146
$c = 95$	"	"	0,0182	0,1170	0,144
R_{II}					
$c = 39$	44	0,358	0,0164	0,1030	0,326
$c = 52$	"	"	0,0170	0,1070	0,319
$c = 72$	"	"	0,0148	0,0923	0,329
$c = 95$	"	"	0,0211	0,1320	0,316

Klasse Z.

	I_s	C'	cos φ	$\mathfrak{C}$	C
S					
$c = 39$	7	0,524	0,0646	0,392	0,0470
$c = 52$	"	"	0,0599	0,353	0,0465
$c = 72$	"	"	0,0611	0,390	0,0475
$c = 95$	"	"	0,0463	0,292	0,0472

Bei der Durchsicht der Ergebnisse können wir beobachten, daß die Konstante $\mathfrak{C}$ bei allen Kabeln der der Klassen X und Y bei steigender Spannung fast unverändert bleibt, es sind wenigstens keine auffälligen Abweichungen zu bemerken. Hieraus kann der Schluß gezogen werden, daß die Energieverluste tatsächlich dem Quadrate der Spannung proportional sind.

Ein abweichendes Verhalten zeigt das Kabel *S*. Hier nehmen die Verluste stärker wie mit dem Quadrat der Spannung zu. Es zeigte sich bei höheren Spannungen sehr bald eine Erhitzung des Kabels. Für den praktischen Gebrauch ist dieses Imprägniermittel durchaus ungeeignet.

Ferner machen wir die Beobachtung, daß die mit Wechselstrom gemessenen Kapazitätswerte stets kleiner sind als die mit Gleichstrom erhaltenen. Diese Erscheinung

ist in der elektrotechnischen Praxis bekannt. Besonders auffällig ist dieser Unterschied bei dem Kabel *S*. Man kann bei diesem Kabel überhaupt keinen ballistischen Ausschlag mehr erzielen, die Alenkung vollzieht sich vielmehr langsam und ruckweise, fast jede Messung ergibt einen anderen Wert. Neuerdings will man aus dem Verhältnis der mit Wechselstrom zu der mit Gleichstrom gemessenen Kapazität ein Maß für die Güte des Kabels ableiten. Dieses Verhältnis soll möglichst 1 sein.

Wie aus der Zusammenstellung der Werte für die Kabel der Klasse X zu ersehen ist, sind die Konstanten $\mathfrak{C}$ für alle Messungen sehr wenig voneinander verschieden. Es kann daraus geschlossen werden, daß die Energieverluste proportional der Periodenzahl der Wechselspannung sind. Ermittelt man für cos φ und die Konstante $\mathfrak{C}$ den Mittelwert aus allen Versuchen, so ist man in der Lage, für jedes Kabel, welches nach Klasse X imprägniert ist, den Energieverbrauch bei gegebener Periodenzahl, Spannung und Kapazität zu berechnen.

Die Mittelwerte für Klasse X sind:

$$\cos \varphi = 0{,}0225$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}141$$

Damit ist der experimentelle Beweis für die anfangs aufgestellte Beziehung

$$\boldsymbol{W = \text{Konst.} \times E^2 \nu C}$$

erbracht.

Auch in der Zusammenstellung der Werte der Klasse Y bemerken wir das Konstantbleiben von $\mathfrak{C}$ mit Ausnahme der letzten Messung. Jedenfalls ist diese starke Abweichung auf eine Temperaturänderung zurückzuführen. Wie wir später sehen werden, ändern sich die Energieverluste mit der Temperatur sehr stark.

Die Mittelwerte für cos φ und $\mathfrak{C}$ für die Klassen Y und Z sind:

Klasse Y:

$$\cos \varphi = 0{,}0171.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}108.$$

Klasse Z:

$$\cos \varphi = 0{,}058.$$
$$\mathfrak{C} = 0{,}376.$$

Wenn wir nach diesen Ergebnissen die Güte der Kabel beurteilen wollen, so müssen wir sagen, daß Klasse Y die beste ist, da bei derselben die geringsten Verluste im Dielektrikum auftreten. Die späteren Messungen bei verschiedenen Temperaturen werden aber zeigen, daß der Klasse X entschieden der Vorzug zu geben ist.

Wir wollen jetzt eine Reihe von Messungen bei verschiedenen Temperaturen an den Kabeln T_I, T_{II}, T und R_I ausführen.

Die zu untersuchenden Kabel wurden in ein Wasserbassin eingebracht, welches elektrisch geheizt werden konnte.

Alle folgenden Messungen der Verluste wurden mit sinusförmigem Wechselstrom von 72 Perioden pro Sekunde ausgeführt.

Messungen bei 9,5 ° C.

Vor der Messung der Verluste wurde der Isolationswiderstand und die Kapazität mit Gleichstrom gemessen.

Es ergab sich dabei:

	Isolation:	Kapazität:
T_I	25 700 Megohm	0,134 Mi
T_{II}	61 800 »	0,216 »
$T = T_I + T_{II}$	18 100 »	0,348 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,0884	1580	1620	6,55	3,51	3,04	0,0218	0,136
0,1084	1940	1990	9,65	5,40	4,25	0,0202	0,126
0,1284	2300	2350	14,30	7,83	6,47	0,0219	0,137
0,1484	2650	2720	17,90	9,54	8,36	0,0212	0,133
0,1684	3010	3160	24,20	12,90	11,30	0,0223	0,139
0,195	3480	3630	32,70	16,05	16,65	0,0246	0,154
0,22	3930	4070	40,10	21,60	18,50	0,0214	0,134
0,245	4380	4530	50,10	25,80	24,30	0,0226	0,142
0,27	4820	5040	61,50	30,60	30,90	0,0237	0,149
0,295	5270	5460	70,30	37,10	32,20	0,0208	0,130
0,32	5720	5910	82,60	44,80	37,80	0,0206	0,129
0,345	6160	6340	99,00	50,30	48,70	0,0229	0,144
0,37	6620	6790	108,20	59,10	49,10	0,0200	0,125

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{9,5} = 0{,}0218.$$
$$\mathfrak{E}_{9,5} = 0{,}137.$$

Die Tourenzahl des Antriebsmotors des Wechselstromgenerators blieb nicht ganz konstant, daher stimmen die einzelnen Ablesungen nicht vollständig überein.

E_c	J_c	Konst.
1570	0,0884	17 800
2270	0,1284	17 700
5300	0,2950	17 950
6200	0,3450	17 950

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 17\,850.$$
$$C = 0{,}124 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,195	2150	2320	17,80	10,65	7,15	0,0170	0,108
0,245	2700	2900	29,85	15,20	14,65	0,0221	0,140
0,295	3270	3480	41,80	23,45	18,35	0,0190	0,119
0,345	3800	4070	58,70	31,30	27,40	0,0208	0,132
0,395	4350	4050	73,90	41,90	32,00	0,0186	0,117
0,392	4320	4700	69,30	40,90	28,40	0,0168	0,106
0,442	4880	5230	90,90	50,00	40,90	0,0190	0,120
0,492	5430	5790	116,00	61,50	54,50	0,0204	0,128
0,542	5980	6380	145,00	76,20	68,80	0,0212	0,134
0,592	6530	6990	169,80	91,40	78,40	0,0203	0,128
0,642	7080	—	189,70	103,00	86,70	0,0191	0,120

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{9,5} = 0,0195.$$
$$\mathfrak{E}_{9,5} = 0,123.$$

E_c	J_c	Konst.
2120	0,195	10 900
3240	0,295	11 000
6000	0,542	11 100
7100	0,642	11 100

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 11\,025.$$
$$C = 0,200 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,342	2340	2440	41,1	22,7	18,4	0,0230	0,146
0,442	3020	3190	67,1	39,6	27,5	0,0206	0,130
0,542	3700	3920	98,0	58,5	39,5	0,0197	0,124
0,642	4390	4620	131,4	79,0	52,4	0,0186	0,117
0,742	5080	5310	184,3	103,7	80,6	0,0216	0,134
0,842	5760	6020	234,0	130,0	104,0	0,0215	0,135
0,942	6440	6730	300,0	166,3	133,7	0,0220	0,138

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{9,5} = 0,0121.$$
$$\mathfrak{E}_{9,5} = 0,132.$$

E_c	J_c	Konst.
2335	0,342	6850
3700	0,542	6850
4390	0,642	6840
5750	0,842	6830

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6845.$$
$$C = 0{,}324 \text{ Mi.}$$

Wie zu erwarten war, liegen die Werte für cos φ und $\mathfrak{C}$ bei der Messung 3 in der Mitte zwischen denen der Messungen 1 und 2. Die Kapazität von T ist genau die Summe der Einzelwerte von T_I und T_{II}.

Messungen bei 10,3° C.

Isolation: 1640 Megohm.
Kapazität: 0,151 Mi.

R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	2000	1820	11,55	6,15	5,40	0,0210	0,132
0,1684	2630	2390	19,85	10,50	9,35	0,0211	0,133
0,2200	3430	3160	32,00	16,70	15,30	0,0203	0,127
0,2700	4210	3840	50,00	25,10	24,90	0,0219	0,137
0,3200	4990	4550	68,90	34,20	34,70	0,0218	0,137
0,3700	5770	5240	92,00	46,20	45,80	0,0215	0,135
0,4200	6550	5950	115,00	59,70	55,30	0,0201	0,127

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{10,3} = 0{,}0211.$$
$$\mathfrak{C}_{10,3} = 0{,}133.$$

E_c	J_c	Konst.
1990	0,1284	15 500
2620	0,1684	15 550
4230	0,2700	15 650
5010	0,3200	15 650

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 15 590.
C = 0,142 Mi.

Messungen bei 13,8° C.

	Isolation	Kapazität
T_I	16 250 Meg.	0,135 Mi.
T_{II}	26 300 »	0,214 »
$T = T_I + T_{II}$	9 500 »	0,345 »
R_I	1 010 »	0,155 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1560	1620	6,55	3,38	3,17	0,0230	0,145
0,1284	2270	2350	14,15	7,02	7,13	0,0245	0,154
0,1684	2980	3100	24,70	12,30	12,40	0,0247	0,155
0,2200	3900	4070	42,40	19,60	22,80	0,0266	0,167
0,2700	4780	4980	64,60	28,50	36,10	0,0280	0,176
0,3200	5670	5900	87,80	42,20	45,60	0,0251	0,157
0,3700	6550	6790	120,60	55,50	65,10	0,0269	0,168

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{13,8} = 0,0255.$$
$$\mathfrak{C}_{13,8} = 0,160.$$

E_c	J_c	Konst.
1560	0,0884	17 650
2260	0,1284	17 600
5240	0,2950	17 780
6980	0,3950	17 650

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 17 700.
C = 0,125 Mi.

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2140	2310	19,65	10,45	9,20	0,0220	0,138
0,295	3240	3480	44,20	23,05	21,15	0,0221	0,139
0,395	4340	4650	80,00	41,60	38,40	0,0224	0,141
0,442	4870	5140	97,30	48,10	49,20	0,0229	0,143
0,492	5420	5740	117,20	58,60	58,60	0,0220	0,138
0,542	5970	6330	142,00	75,90	66,10	0,0204	0,128
0,592	6520	6920	170,70	86,50	84,20	0,0218	0,136
0,642	7060	—	203,50	101,40	102,10	0,0225	0,141

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{13,8} = 0{,}022.$$
$$\mathfrak{C}_{13,8} = 0{,}138.$$

E_c	J_c	Konst.
2160	0,195	11 080
3240	0,295	11 000
5940	0,542	10 950
7050	0,642	10 980

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 11\,000.$$
$$C = 0{,}201 \text{ Mi}.$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2980	3170	69,2	37,1	32,1	0,0244	0,152
0,542	3660	3900	102,8	53,5	49,3	0,0249	0,155
0,642	4330	4600	137,5	77,7	59,8	0,0215	0,134
0,742	5000	5350	189,5	100,8	88,7	0,0239	0,149
0,842	5680	6050	234,0	129,0	105 0	0,0219	0,137
0,942	6350	6750	299,5	157,8	141,7	0,0238	0,148

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{13,8} = 0{,}0234.$$
$$\mathfrak{C}_{13,8} = 0{,}146.$$

E_c	J_c	Konst.
2980	0,442	6750
3660	0,542	6760
4330	0,642	6750
5000	0,742	6750

Konst. $_{\text{Mittel}} = 6750.$
$C = 0{,}328$ Mi.

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1980	1820	10,85	6,21	4,64	0,0183	0,115
0,1684	2600	2380	18,8	10,30	8,50	0,0194	0,122
0,2200	3390	3140	31,6	17,00	14,60	0,0196	0,123
0,2700	4160	3860	46,7	25,00	21,70	0,0193	0,122
0,3200	4940	4520	66,3	35,40	30,90	0,0195	0,123
0,3700	5710	5240	90,3	44,80	45,50	0,0215	0,136
0,4200	6480	5990	114,5	60,70	53,80	0,0198	0,124

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{13,8} = 0{,}0196.$$
$$\mathfrak{C}_{13,8} = 0{,}124.$$

E_c	J_c	Konst.
1970	0,1284	15 340
2570	0,1684	15 270
4200	0,2700	15 550
4960	0,3200	15 500

Konst. $_{\text{Mittel}} = 15420.$
$C = 0{,}143$ Mi.

Messungen bei 17° C.

Zuerst wurde der Isolationswiderstand und die Kapazität bestimmt.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	6680 Meg	0,137 Mi
T_{II}	14 550 »	0,216 »
$T = T_I + T_{II}$	4580 »	0,352 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0884	1550	1620	7,1	3,17	3,93	0,0287	0,179
0,1284	2250	2370	13,8	7,10	6,70	0,0232	0,146
0,1684	2960	3090	24,2	12,10	12,10	0,0243	0,152
0,2200	3860	4100	41,1	19,40	21,70	0,0256	0,161
0,2700	4740	5000	62,5	30,40	32,10	0,0250	0,157
0,3200	5620	5920	84,6	41,50	43,10	0,0240	0,150
0,3700	6500	—	110,0	55,50	54,50	0,0227	0,143

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{17} = 0{,}0248.$$
$$\mathfrak{C}_{17} = 0{,}155.$$

E_c	J_c	Konst.
1530	0,0884	17 350
2330	0,1284	18 100
5130	0,2950	17 400
6010	0,3450	17 400

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 17\,560.$$
$$C = 0{,}126.$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2110	2340	19,5	10,4	9,1	0,0221	0,139
0,295	3200	3480	43,5	22,8	20,7	0,0219	0,138
0,395	4280	4640	77,2	40,0	37,2	0,0220	0,139
0,442	4790	5200	94,1	51,3	42,8	0,0203	0,127
0,492	5330	5750	114,5	63,5	51,0	0,0195	0,123
0,542	5880	6310	139,5	75,3	64,2	0,0201	0,126
0,592	6420	6930	166,0	88,8	77,2	0,0203	0,127
0,642	6960	—	203,0	104,2	98,8	0,0222	0,139

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{17} = 0{,}0211$$
$$\mathfrak{C}_{17} = 0{,}132.$$

E_c	J_c	Konst.
2110	0,195	10 800
3200	0,295	10 840
5850	0,542	10 800
6980	0,642	10 880

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10830$$
$$C = 0{,}204 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2930	3200	67,8	37,1	30,7	0,0238	0,149
0,542	3600	3930	100,5	55,3	45,2	0,0232	0,145
0,642	4260	4630	137,2	80,5	56,7	0,0207	0,130
0,742	4920	5330	188,5	101,0	87,5	0,0240	0,150
0,842	5580	6050	230,5	126,2	104,3	0,0222	0,139
0,942	6250	6730	294,0	163,7	130,3	0,0222	0,139

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{17} = 0{,}0227.$$
$$\mathfrak{C}_{17} = 0{,}142.$$

E_c	J_c	Konst.
2940	0,442	6650
3580	0,542	6610
4250	0,642	6630
4930	0,742	6650

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6630.$$
$$C = 0{,}334 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 17,5° C.

Isolation 456 Megohm.
Kapazität 0,165 Mi.

R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1360	1260	4,93	2,97	1,96	0,0163	0,103
0,1284	1980	1830	10,38	6,21	4,17	0,0164	0,103
0,1684	2600	2390	17,80	10,50	7,30	0,0167	0,104
0,2200	3400	3170	28,90	17,00	11,90	0,0159	0,100
0,2700	4170	3860	44,70	25,20	19,50	0,0173	0,109
0,3200	4940	4560	61,30	35,40	25,90	0,0164	0,103
0,3700	5710	5230	84,50	46,60	37,90	0,0179	0,113
0,4200	6490	5970	107,80	60,20	47,60	0,0175	0,110

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{17,5} = 0{,}0168.$$
$$\mathfrak{C}_{17,5} = 0{,}106.$$

E_c	J_c	Konst.
1370	0,0884	15 500
1970	0,1284	15 320
4170	0,2700	15 450
4920	0,3200	15 400

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15420.$$
$$C = 0{,}143 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 21,5° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	4000 Meg.	0,138 Mi.
T_{II}	10000 »	0,217 »
$T = T_I + T_{II}$	2740 »	0,351 »
R_I	326 »	0,195 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1500	1620	6,75	3,38	3,37	0,0254	0,160
0,1284	2190	2350	14,40	7,02	7,38	0,0262	0,164
0,1684	2870	3100	25,00	12,30	12,70	0,0263	0,165
0,2200	3750	4070	41,30	19,60	21,70	0,0263	0,165
0,2700	4600	4980	63,10	28,50	34,60	0,0278	0,174
0,3200	5450	5900	86,50	42,20	44,30	0,0254	0,159
0,3700	6300	6790	116,00	55,50	60,50	0,0260	0,163

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{21,5} = 0,0262.$$
$$\mathfrak{C}_{21,5} = 0,164.$$

E_c	J_c	Konst.
1480	0,0884	16 800
2160	0,1284	16 800
5080	0,2950	17 200
6820	0,3950	17 280

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 17\,020.$$
$$C = 0,13 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2080	2310	19,2	10,45	8,75	0,0216	0,135
0,295	3140	3480	43,8	23,05	20,75	0,0224	0,141
0,395	4210	4650	80,5	41,60	38,90	0,0234	0,147
0,442	4720	5140	95,3	48,10	47,20	0,0226	0,142
0,492	5250	5740	120,5	58,60	61,90	0,0240	0,150
0,542	5790	6330	141,5	75,90	65,60	0,0210	0,131
0,592	6320	6920	170,0	86,50	83,50	0,0223	0,140
0,642	6850	—	204,0	101,40	102,60	0,0234	0,147

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{21,5} = 0,0226.$$
$$\mathfrak{C}_{21,5} = 0,142.$$

E_c	J_c	Konst.
2070	0,195	10 600
3100	0,295	10 500
5830	0,542	10 750
6900	0,642	10 750

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10650.$$
$$C = 0,208 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2900	3170	67,5	37,1	30,4	0,0237	0,149
0,542	3550	3900	100,5	53,5	47,0	0,0245	0,154
0,642	4210	4600	136,0	77,7	58,3	0,0216	0,135
0,742	4860	5350	184,0	100,8	83,2	0,0231	0,145
0,842	5510	6050	238,0	129,0	109,0	0,0236	0,148
0,942	6170	6750	292,0	157,8	135,2	0,0233	0,146

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{21,5} = 0,0233.$$
$$\mathfrak{C}_{21,5} = 0,146.$$

E_c	J_c	Konst.
2880	0,442	6520
3540	0,542	6540
4190	0,642	6540
4890	0,742	6600

$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6550.$
$C = 0{,}338$ Mi.

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1920	1820	9,58	6,21	3,37	0,0137	0,0862
0,1684	2520	2380	16,20	10,30	5,90	0,0139	0,0875
0,2200	3300	3140	27,10	17,00	10,10	0,0139	0,0875
0,2700	4040	3860	40,50	25,00	15,50	0,0142	0,0894
0,3200	4790	4520	56,90	35,40	21,50	0,0140	0,0885
0,3700	5530	5240	76,10	44,80	31,30	0,0153	0,0964
0,4200	6290	5990	97,50	60,70	36,80	0,0139	0,0875

Im Mittel:

$\cos \varphi_{21,5} = 0{,}0141.$
$\mathfrak{C}_{21,5} = 0{,}089.$

E_c	J_c	Konst.
1900	0,1284	14 800
2500	0,1684	14 850
4080	0,2700	15 100
4830	0,3200	15 100

$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 14960.$
$C = 0{,}148$ Mi.

Messungen bei 24,5° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	1850 Meg.	0,139 Mi.
T_{II}	4590 »	0,217 »
$T = T_I + T_{II}$	1275 »	0,352 »
R_I	200 »	0,227 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1490	1620	6,55	3,38	3,17	0,0241	0,152
0,1284	2170	2350	13,80	7,02	6,78	0,0243	0,152
0,1684	2840	3100	23,50	13,30	11,20	0,0234	0,147
0,2200	3710	4070	40,20	19,60	20,60	0,0252	0,159
0,2700	4560	4980	59,60	28,50	31,10	0,0252	0,159
0,3200	5400	5900	83,90	42,20	41,70	0,0241	0,151
0,3700	6250	6790	113,00	55,50	57,70	0,0250	0,157

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{24,5} = 0{,}0248.$$
$$\mathfrak{C}_{24,5} = 0{,}154.$$

E_c	J_c	Konst.
1470	0,0884	16 700
2130	0,1284	16 600
5070	0,2950	17 200
6730	0,3950	17 000

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16875.$$
$$C = 0{,}131 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2060	2310	19,2	10,45	8,75	0,0218	0,136
0,295	3110	3480	43,9	23,05	20,85	0,0227	0,143
0,395	4170	4650	79,5	41,60	37,90	0,0230	0,144
0,442	4670	5140	92,0	48,10	43,90	0,0213	0,133
0,492	5200	5740	119,3	58,60	60,70	0,0237	0,149
0,542	5720	6330	138,8	75,90	62,90	0,0203	0,127
0,592	6250	6920	172,3	86,50	85,80	0,0232	0,146
0,642	6780	—	198,3	101,40	96,90	0,0222	0,139

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{24,5} = 0{,}0223.$$
$$\mathfrak{C}_{24,5} = 0{,}140.$$

E_c	J_c	Konst.
2040	0,195	10 450
3100	0,295	10 500
5740	0,542	10 580
6820	0,642	10 630

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10\,540.$$
$$C = 0{,}21 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2860	3170	67,2	37,1	30,1	0,0238	0,149
0,542	3500	3900	99,0	53,5	45.5	0,0240	0,151
0,642	4150	4600	136,0	77,7	58,3	0,0219	0,138
0,742	4800	5350	177,5	100.8	76,7	0,0216	0,135
0,842	5450	6050	228,5	129,0	99,5	0,0217	0,136
0,942	6100	6750	286,0	157,8	128,2	0,0224	0,140

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{24,5} = 0{,}0226.$$
$$\mathfrak{C}_{24,5} = 0{,}142.$$

E_c	J_c	Konst.
2840	0,442	6430
3520	0,542	6500
4160	0,642	6490
4810	0,742	6490

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6478.$$
$$C = 0{,}342 \text{ Mi.}$$

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1930	1820	8,7	6,21	2,49	0,0100	0,0632
0,1684	2530	2380	15,7	10,30	5,40	0,0127	0,0796
0,2200	3300	3140	25,5	17,00	8,50	0,0117	0,0736
0,2700	4050	3860	38,0	25,00	13,00	0,0119	0,0750
0,3200	4800	4520	54,0	35,40	18,60	0,0121	0,0763
0,3700	5550	5240	75,6	44,80	30,80	0,0150	0,0945
0,4200	6300	—	93,0	57,80	35,20	0,0133	0,0837

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{24,5} = 0{,}0124.$$
$$\mathfrak{C}_{24,5} = 0{,}078.$$

E_c	J_c	Konst.
1900	0,1284	14 800
2490	0,1684	14 800
4070	0,2700	15 100
4880	0,3200	15 260

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 14990.$$
$$C = 0{,}1475 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 27,5° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	1120 Meg.	0,137 Mi.
T_{II}	2450 »	0,216 »
$T = T_I + T_{II}$	710 »	0,351 »
R_I	168 »	0,274 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1500	1620	6,4	3,38	3,02	0,0228	0,143
0,1284	2190	2350	13,8	7,02	6,78	0,0241	0,150
0,1684	2870	3100	23,5	11,30	11,20	0,0232	0,145
0,2200	3740	4070	39,9	19,60	20,30	0,0246	0,154
0,2700	4600	4980	58,9	28,50	30,40	0,0245	0,153
0,3200	5450	5900	82 8	42,20	40,60	0,0233	0,146
0,3700	6300	6790	110,0	55,50	54,50	0,0234	0,146

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{27,5} = 0,0237.$$
$$\mathfrak{C}_{27,5} = 0,148.$$

E_c	J_c	Konst.
1500	0,0884	17000
2170	0,1284	16900
5030	0,2950	17050
6760	0,3950	17100

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 17010.$$
$$C = 0,13 \text{ Mi}.$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2070	2310	19,2	10,45	8,75	0,0216	0,135
0,295	3130	3480	42,0	23,05	18,95	0,0206	0 128
0,395	4190	4650	73,7	41,60	32,10	0,0194	0,121
0,442	4690	5140	91,4	48,10	43,30	0,0209	0,130
0,492	5220	5740	110,0	58,60	51,40	0,0200	0,125
0,542	5760	6330	131,0	75,90	55,10	0,0177	0,110
0,592	6280	6920	157,0	86,50	70,50	0,0189	0,118
0,642	6820	—	187,0	101,40	85,60	0,0195	0,121

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{27,5} = 0,0198.$$
$$\mathfrak{C}_{27,5} = 0,124.$$

E_c	J_c	Konst.
2090	0,195	10 700
3130	0,295	10 600
5730	0,542	10 550
6810	0,642	10 600

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10610.$$
$$C = 0{,}2085 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,442	2860	3170	65,9	37,1	28,8	0,0228	0,143
0,542	3510	3900	98,3	53,5	44,8	0,0236	0,148
0,642	4160	4600	129,6	77,7	51,9	0,0194	0,122
0,742	4800	5350	172,8	100,8	72,0	0,0202	0,127
0,842	5450	6050	218,0	129,0	89,0	0,0194	0,122
0,942	6100	6750	269,0	157,8	111,2	0,0194	0,122

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{27,5} = 0{,}0208.$$
$$\mathfrak{C}_{27,5} = 0{,}131.$$

E_c	J_c	Konst.
2840	0,442	6440
3520	0,542	6500
4150	0,642	6460
4820	0,742	6500

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6475.$$
$$C = 0{,}342 \text{ Mi.}$$

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1950	1820	9,0	6,21	2,79	0,0111	0,0702
0,1684	2560	2380	15,9	10,30	5,60	0,0130	0,0817
0,2200	3360	3140	26,2	17,00	9,20	0.0110	0,0694
0,2700	4110	3860	39,2	25,00	14,20	0,0128	0,0804
0,3200	4860	4520	55,0	35,40	19,60	0,0126	0,0793
0,3700	5620	5240	74,0	44.80	29,20	0,0140	0,0883
0,4200	6390	5990	97,8	60,70	37,10	0,0138	0,0870

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{27,5} = 0{,}0126.$$
$$\mathfrak{C}_{27,5} = 0.0795.$$

E_c	J_c	Konst.
1950	0,1284	15 180
2540	0,1684	15 080
4120	0,2700	15 250
4890	0,3200	15 280

Konst. $_{\text{Mittel}} = 15\,200.$
$C = 0{,}1455$ Mi.

Messungen bei 31° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	396 Meg.	0,135 Mi.
T_{II}	700 »	0,213 »
$T = T_I + T_{II}$	304 »	0,35 »
R_I	91 »	0,364 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1485	1620	6,21	3,38	2,83	0,0216	0,135
0,1284	2160	2350	12,88	7,02	5,86	0,0211	0,132
0,1684	2830	3100	21,85	12,30	9,55	0,0200	0,126
0,2200	3700	4070	36,50	19,60	16,90	0,0208	0,130
0,2700	4530	4980	54,50	28,50	26,00	0,0212	0,134
0,3200	5380	5900	78,10	42,20	35,90	0,0208	0,131
0,3700	6220	6790	103,70	55,50	48,20	0,0209	0,131

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{31} = 0{,}0209.$$
$$\mathfrak{C}_{31} = 0{,}131.$$

E_c	J_c	Konst.
1485	0,0884	16 830
2150	0,1284	16 730
4530	0,2700	16 800
5400	0,3200	16 900

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16815.$$
$$C = 0{,}1315 \text{ Mi}.$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2050	2310	16,7	10,45	6,25	0,0156	0,0987
0,295	3110	3480	38,9	23,05	15,85	0,0173	0,1085
0,395	4170	4650	67,5	41,60	25,90	0,0157	0,0988
0,442	4660	5140	81,0	48,10	32,90	0,0160	0,1002
0,492	5190	5740	99,4	58,60	40,80	0,0160	0,1003
0,542	5710	6330	123,0	75,90	47,10	0,0152	0,0956
0,592	6250	6920	150,0	86,50	63,50	0,0172	0,1080
0,642	6770	—	178,0	101,40	76,60	0,0176	0,1104

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{31} = 0{,}0164.$$
$$\mathfrak{C}_{31} = 0{,}1026.$$

E_c	J_c	Konst.
2080	0,195	10 660
3120	0,295	10 580
5680	0,542	10 460
6700	0,642	10 430

Konst. $_{\text{Mittel}} = 10\,530.$
$C = 0{,}21$ Mi.

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,542	3480	3900	90,0	53,5	36,5	0,0194	0,1220
0,642	4120	4600	125,6	77,7	47,9	0,0181	0,1140
0,742	4760	5350	162,0	100,8	61,2	0,0173	0,1090
0.842	5410	6050	205,5	129,0	76,5	0,0168	0,1055
0,942	6050	6750	255,5	157,8	97,7	0,0171	0,1080

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{31} = 0{,}0177.$$
$$\mathfrak{C}_{31} = 0{,}112.$$

E_c	J_c	Konst.
2840	0,442	6430
3490	0,542	6450
4100	0,642	6390
4770	0,742	6430

Konst. $_{\text{Mittel}} = 6425.$
$C = 0{,}344$ Mi.

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1940	1820	9,47	6,21	3,26	0,0131	0,0825
0,1684	2550	2380	16,60	10,30	6,30	0,0146	0,0925
0,2200	3330	3140	27,10	17,00	10,10	0,0138	0,0869
0,2700	4080	3860	41,80	25,00	16,80	0,0152	0,0965
0,3200	4850	4520	57,40	35,40	22,00	0,0142	0,0895
0,3700	5600	5240	78,00	44,80	33,20	0,0160	0,1008
0,4200	6360	5990	98,50	60,70	37,80	0,0141	0,0890

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{31} = 0{,}0144.$$
$$\mathfrak{C}_{31} = 0{,}0911.$$

E_c	J_c	Konst.
1940	0,1284	15 100
2550	0,1684	15 140
4090	0,2700	15 140
4850	0,3200	15 150

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15\,130.$$
$$C = 0{,}146 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 35° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	286 Meg.	0,148 Mi.
T_{II}	612 »	0,220 »
$T = T_I + T_{II}$	186 »	0,367 »
R_I	75 »	0,515 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,0884	1470	1820	5,73	3,38	2,35	0,0181	0,114
0,1284	2140	2380	11,72	7,02	4,70	0,0171	0,107
0,1684	2810	3140	20,65	12,30	8,35	0,0176	0,110
0,2200	3670	3860	33,70	19,60	14,10	0,0174	0,109
0,2700	4500	4520	51,10	28,50	22,60	0,0186	0,116
0,3200	5350	5240	72,60	42,20	30,40	0,0178	0,111
0,3700	6180	5990	102,50	55,50	47,00	0,0206	0,128

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{35} = 0{,}0182.$$
$$𝔈_{35} = 0{,}113.$$

E_c	J_c	Konst.
1460	0,0884	16 550
2120	0,1284	16 500
4940	0,2950	16 780
6660	0,3950	16 870

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16680.$$
$$C = 0{,}133 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	𝔈
0,195	2030	2310	15,9	10,45	5,45	0,0138	0,0865
0,295	3070	3480	36,4	23,05	13,35	0,0147	0,0928
0,395	4110	4650	65,2	41,60	23,60	0,0145	0,0915
0,442	4610	5140	75,7	48,10	27,60	0,0135	0,0850
0,492	5130	5740	93,5	58,60	34,90	0,0138	0,0869
0,542	5650	6330	118,8	75,90	42,90	0,0140	0,0880
0,592	6170	6920	136,0	86,50	49,50	0,0135	0,0850
0,642	6690	—	161,5	101,40	60,10	0,0140	0,0880

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{35} = 0{,}014.$$
$$𝔈_{35} = 0{,}088.$$

E_c	J_c	Konst.
2030	0,195	10 400
3080	0,295	10 450
5630	0,542	10 380
6690	0,642	10 420

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 10410.
$C = 0{,}213$ Mi.

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2810	3170	56,7	37,1	19,6	0,0158	0,0995
0,542	3440	3900	84,3	53,5	30,8	0,0165	0,1040
0,642	4080	4600	119,8	77,7	42,1	0,0160	0,1010
0,742	4710	5350	153,7	100,8	52,9	0,0151	0,0955
0,842	5350	6050	193,5	129,0	64,5	0,0143	0,0902
0,942	5990	6750	246,0	157,8	88,2	0,0156	0,0985

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{35} = 0{,}0156.$$
$$\mathfrak{C}_{35} = 0{,}0981.$$

E_c	J_c	Konst.
2780	0,442	6290
3440	0,542	6350
4100	0,642	6390
4740	0,742	6390

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 6355.
$C = 0{,}348$ Mi.

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1940	1820	11,05	6,21	4,84	0,0194	0,123
0,1684	2550	2380	18,70	10,30	8,40	0,0195	0,123
0,2200	3330	3140	31,10	17,00	14,10	0,0192	0,121
0,2700	4080	3860	46,90	25,00	21,90	0,0199	0,125
0,3200	4840	4520	65,80	35,40	30,40	0,0196	0,124
0,3700	5600	5240	86,70	44,80	41,90	0,0202	0,127
0,4200	6350	5990	113,00	60,70	52,30	0,0196	0,123

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{35} = 0{,}0196.$$
$$\mathfrak{C}_{35} = 0{,}124.$$

E_c	J_c	Konst.
1940	0,1284	15 100
2540	0,1684	15 100
4080	0,2700	15 100
4850	0,3200	15 150

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15\,110.$$
$$C = 0{,}146 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 39,5° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	102,0 Megohm	0,160 Mi.
T_{II}	220,0 »	0,226 »
$T = T_I + T_{II}$	70,5 »	0,375 »
R_I	42,8 »	0,700 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,0884	1450	1630	5,26	3,38	1,88	0,0147	0,0950
0,1284	2110	2350	10,92	7,15	3,77	0,0139	0,0900
0,1684	2770	3000	19,00	12,40	6,60	0,0141	0,0912
0,2200	3610	4080	31,70	19,95	11,75	0,0148	0,0960
0,2700	4430	5020	47,60	30,50	17,10	0,0143	0,0925
0,3200	5250	5890	67,20	41,40	25,80	0,0154	0,0995
0,3700	6080	—	91,80	55,40	36,40	0,0157	0,1015

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{39,5} = 0{,}0147.$$
$$\mathfrak{C}_{39,5} = 0{,}0951.$$

E_c	J_c	Konst.
1450	0,0884	16 400
2100	0,1284	16 300
4870	0,2950	16 500
5690	0,3450	16 500

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16425$$
$$C = 0{,}135 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,195	2030	2020	13,8	9,20	4,60	0,0116	0,0734
0,295	3070	3030	31,2	21,05	10,15	0,0112	0,0706
0,395	4110	4040	53,3	37,00	16,30	0,0100	0,0631
0,442	4600	4550	66,5	46,40	20,10	0,0099	0,0590
0,492	5120	5050	81,7	59,10	22,60	0,0090	0,0565
0,542	5650	5550	101,3	67,80	33,50	0,0109	0,0687
0,592	6170	6050	117,2	81,40	35,80	0,0098	0,0617
0,642	6680	—	139,3	95,80	43,50	0,0101	0,0639

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{39,5} = 0{,}0103.$$
$$\mathfrak{C}_{39,5} = 0{,}0646.$$

E_c	J_c	Konst.
2060	0,195	10 560
3060	0,295	10 370
5600	0,542	10 340
6650	0,642	10 360

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 10410.
C = 0,212 Mi.

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,442	2810	3220	52,6	37,1	15,5	0,0125	0,0788
0,542	3440	3920	78,3	57,0	21,3	0,0114	0,0720
0,642	4080	4630	107,5	75.8	31,7	0 0121	0,0765
0,742	4720	5350	137,0	99,5	37,5	0 0107	0,0673
0,842	5350	6030	180,0	128,5	51,5	0,0114	0,0720
0,942	5990	6760	224,0	156,0	68,0	0,0121	0,0760

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{39,5} = 0{,}0117.$$
$$\mathfrak{C}_{39.5} = 0{,}0738.$$

E_c	J_c	Konst.
2820	0,442	6390
3440	0,542	6360
4070	0,642	6340
4700	0,742	6340

Konst. $_{\text{Mittel}}$ = 6360.
C = 0,348 Mi.

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1940	1820	13,28	6,21	7,07	0.0284	0,178
0,1684	2540	2380	22,65	10,30	12,35	0,0289	0,181
0,2200	3320	3140	38,60	17,00	21,60	0,0296	0,186
0 2700	4070	3860	58,50	25,00	33,50	0,0305	0,192
0,3200	4820	4520	82,90	35,40	47,50	0,0308	0,194
0,3700	5580	5240	107,50	44.80	62,70	0,0304	0,191
0,4200	6340	5990	136,00	60,70	75,30	0,0284	0,178

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{39,5} = 0{,}0296.$$
$$\mathfrak{C}_{39,5} = 0{,}186.$$

E_c	J_c	Konst.
1930	0,1284	15 050
2530	0,1684	15 000
4080	0,2700	15 100
4840	0,3200	15 130

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 15070.$$
$$C = 0{,}147 \text{ Mi.}$$

Messungen bei 44,5° C.

	Isolation:	Kapazität:
T_I	1220 Meg.	0,206 Mi.
T_{II}	1840 »	0,236 »
$T = T_I + T_{II}$	78,5 »	0,436 »
R_I	21,1 »	1,060 »

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0884	1440	1620	5,00	3,24	1,76	0,0138	0,0875
0,1284	2100	2340	10,45	7,10	3,35	0,0124	0,0782
0,1684	2750	2990	17,80	11,86	5,94	0,0128	0,0808
0,2200	3590	4050	30,40	19,40	11,00	0,0139	0,0880
0,2700	4410	4960	45,00	29,50	15,50	0,0130	0,0820
0,3200	5230	5580	63,20	40,10	23,10	0,0138	0,0870
0,3700	6040	—	85,70	53,60	32,10	0,0144	0,0905

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{44,5} = 0{,}0134.$$
$$\mathfrak{C}_{44,5} = 0{,}0849.$$

E_c	J_c	Konst.
1440	0,0884	16 300
2080	0,1284	16 200
4850	0,2950	16 400
5670	0,3450	16 400

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16320.$$
$$C = 0{,}135 \text{ Mi.}$$

2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,195	2020	2300	14,1	10,0	4,1	0,01040	0,0652
0,295	3050	3450	31,2	22,8	8,4	0,00935	0,0587
0,395	4090	4620	56,1	38,9	17,2	0,01070	0,0670
0,442	4580	5140	68,1	47,0	21,1	0,01040	0,0654
0,492	5100	5710	79,7	58,3	21,4	0,00853	0,0534
0,542	5620	6290	100,0	73 2	26,8	0,00882	0,0552
0,592	6130	6850	117,8	85,5	32,3	0,00892	0,0559
0,642	6650	—	138,6	100,0	38,6	0,00905	0,0567

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{44,5} = 0{,}00952.$$
$$\mathfrak{C}_{44,5} = 0{,}0597.$$

E_c	J_c	Konst.
2030	0,195	10 400
3060	0,295	10 400
5580	0,542	10 300
6620	0,642	10 300

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 10\,350.$$
$$C = 0{,}214 \text{ Mi.}$$

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,442	2780	3180	50,5	36,7	13,8	0,0112	0,0707
0,542	3400	3880	74,6	53,9	20,7	0,0112	0,0710
0,642	4030	4560	103,5	75,7	27,8	0,0107	0,0677
0,742	4670	5290	134.5	98,5	36,0	0,0104	0,0654
0,842	5290	5990	171,2	127,2	44,0	0,0099	0.0623
0,942	5920	6720	215,5	157,0	58,5	0,0105	0,0662

Im Mittel:

$$\cos\varphi_{44,5} = 0{,}0107.$$
$$\mathfrak{C}_{44,5} = 0{,}0672.$$

E_c	J_c	Konst.
2780	0,442	6300
3400	0,542	6280
4020	0,642	6270
4670	0,742	6300

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 6290.$$
$$C = 0{,}352 \text{ Mi.}$$

4. R_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	cos φ	$\mathfrak{C}$
0,1284	1900	1820	19,2	6,07	13,13	0,0540	0,337
0,1684	2490	2480	32,8	10,30	22,50	0,0537	0,336
0,2200	3260	3140	56,5	16,90	39,60	0,0553	0,372
0,2700	4000	3770	83,3	25,00	58,30	0,0541	0,338
0,3200	4740	4520	114,4	33,70	80,70	0,0532	0,332
0,3700	5480	5220	156,0	46,10	109,90	0,0545	0,340
0,4200	6220	5930	202,0	58,90	143,10	0,0549	0,343

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{44,5} = 0,0542.$$
$$\mathfrak{C}_{44,5} = 0,343.$$

E_c	J_c	Konst.
1890	0,1284	14 700
2490	0,1684	14 800
4020	0,2700	14 900
4750	0,3200	14 800

$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 14\,800.$$
$$C = 0,15 \text{ Mi}.$$

Messungen bei 50° C.

	Isolationswiderstand:	Kapazität:
T_I	60,0 Megohm	0,276
T_{II}	80,0 »	0,278
$T = T_I + T_{II}$	34,3 »	0,570

Die ballistische Messung war sehr unbestimmt, wahrscheinlich wegen des sehr niedrigen Isolationswiderstandes.

1. T_I.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
0,0884	1430	1630	4,92	3,37	1,55	0,0123	0,077
0,1284	2080	2350	10,00	6,69	3,31	0,0124	0,0776
9,1684	2720	3060	16,95	12,00	4,95	0,0108	0,0687
0,2200	3560	4070	28,20	18,75	9,45	0,0120	0,0757
0,2700	4360	4920	43,10	27,95	15,15	0,0129	0,0810
0,3200	5170	5860	59,50	40,20	19,30	0,0117	0,0733
0,3700	5970	—	81,50	56,10	25,40	0,0115	0,0723

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{50,0} = 0{,}0119.$$
$$\mathfrak{C}_{50,0} = 0{,}0751.$$

E_c	J_c	Konst.
1420	0,0884	16 100
2070	0,1284	16 100
4770	0,2950	16 200
5590	0,3450	16 200

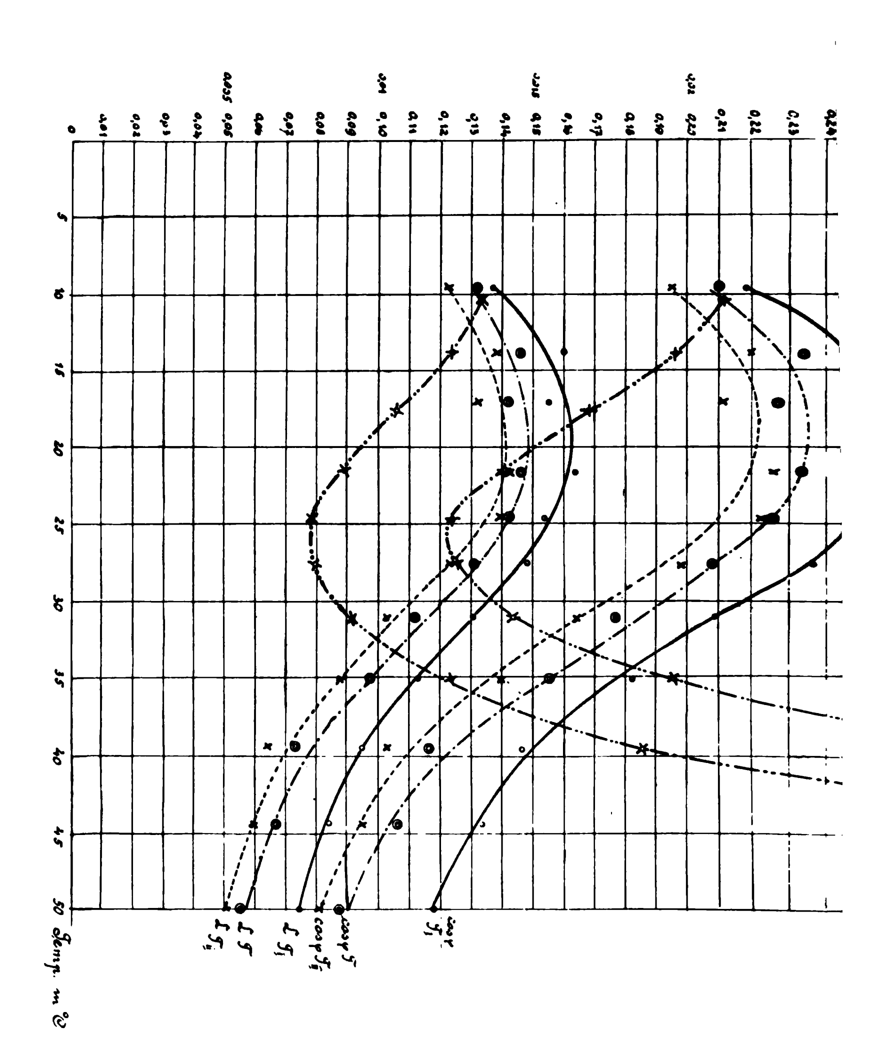
$$\text{Konst.}_{\text{Mittel}} = 16150.$$
$$C = 0{,}137 \text{ Mi.}$$

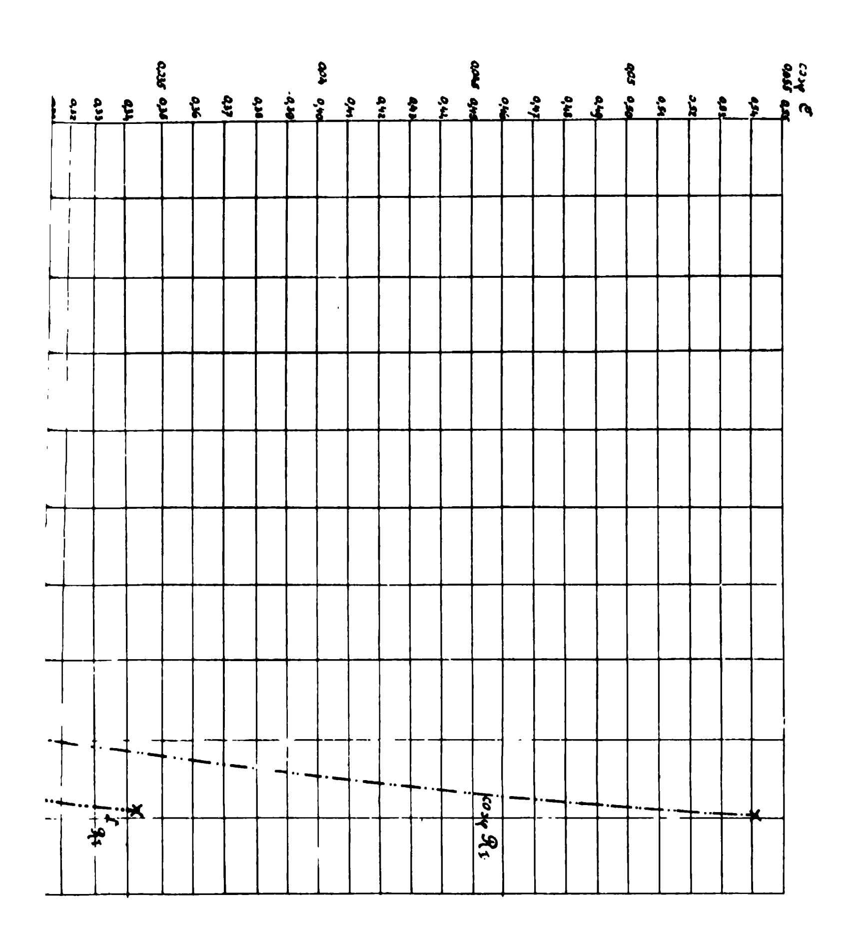
2. T_{II}.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos \varphi$	$\mathfrak{C}$
0,195	1980	2300	12,8	9,5	3,3	0,00855	0,0536
0,295	3000	3460	29,7	21,7	8,0	0,00906	0,0566
0,395	4010	4620	52,1	38,0	14,1	0,00892	0,0559
0,442	4490	5160	60,5	47,0	13,5	0,00682	0,0428
0,492	5000	5700	76,8	56,4	20,4	0,00830	0,0521
0,542	5510	6310	93,6	70,5	23,1	0,00775	0,0485
0,592	6020	6850	113,0	83,8	29,2	0,00820	0,0512
0,642	6530	—	130,2	98,5	31,7	0,00759	0,0475

Im Mittel:

$$\cos \varphi_{50} = 0{,}00815.$$
$$\mathfrak{C}_{50} = 0{,}051.$$





E_c	J_c	Konst.
1990	0,195	10 200
3020	0,295	10 250
5470	0,542	10 100
6480	0,642	10 100

Konst. $_{\text{Mittel}} = 10\,160.$
$C = 0{,}218$ Mi.

3. $T = T_I + T_{II}$.

J_c	E_c	E_S	W_t	W_S	W_K	$\cos\varphi$	$\mathfrak{C}$
0,442	2730	3180	46,2	36,2	10,0	0,00830	0,0521
0,542	3350	3880	69,3	52,9	16,4	0,00904	0,0567
0,642	3970	4560	97,3	73,5	23,8	0,00937	0,0588
0,742	4590	5290	131,0	97,8	33,2	0,00977	0,0613
0,842	5200	5970	162,0	124,5	37,5	0,00857	0,0538
0,942	5820	6710	199,0	156,0	43,0	0,00785	0,0492

Im Mittel:

$\cos\varphi_{50} = 0{,}00882.$
$\mathfrak{C}_{50} = 0{,}0553.$

E_c	J_c	Konst.
2750	0,442	6230
3350	0,542	6180
3970	0,642	6180
4580	0,742	6180

Konst. $_{\text{Mittel}} = 6190.$
$C = 0{,}358$ Mi.

Wir wollen jetzt die Ergebnisse der Untersuchungen bei den verschiedenen Temperaturen in Tabellen zusammenfassen.

1. T_I.

Temp. in °C	C'	I_s.	cos φ	𝕮	C
9,5	0,134	25 700	0,0218	0,1370	0,1240
13,8	0,135	16 250	0,0255	0,1600	0,1250
17,0	0,137	6 680	0,0248	0,1550	0,1260
21,5	0,138	4 000	0,0262	0,1640	0,1300
24,5	0,139	1 850	0,0248	0,1540	0,1310
27,5	0,137	1 120	0,0237	0,1480	0,1300
31,0	0,135	396	0,0209	0,1310	0,1315
35,0	0,148	286	0,0182	0,1130	0,1330
39,5	0,160	102	0,0147	0,0951	0,1350
44,5	0,206	122	0,0134	0,0849	0,1350
50,0	0,276	60	0,0119	0,0751	0,1370

2. T_{II}.

Temp in °C.	C'	I_s.	cos φ	𝕮	C
9,5	0,216	61 800	0,01950	0,1230	0,2000
13,8	0,214	26 300	0,02200	0,1380	0,2010
17,0	0,216	14 550	0,02110	0,1320	0,2040
21,5	0,217	10 000	0,02260	0,1420	0,2080
24,5	0,217	4 590	0,02230	0,1400	0,2100
27,5	0,216	2 450	0,01980	0,1240	0,2085
31,0	0,213	700	0,01640	0,1026	0,2100
35,0	0,220	612	0,01400	0,0880	0,2130
39,5	0,226	220	0,01030	0,0646	0,2120
44,5	0,236	184	0,00952	0,0597	0,2140
50,0	0,278	80	0,00815	0,0510	0,2180

3. $T = T_I + T_{II}$.

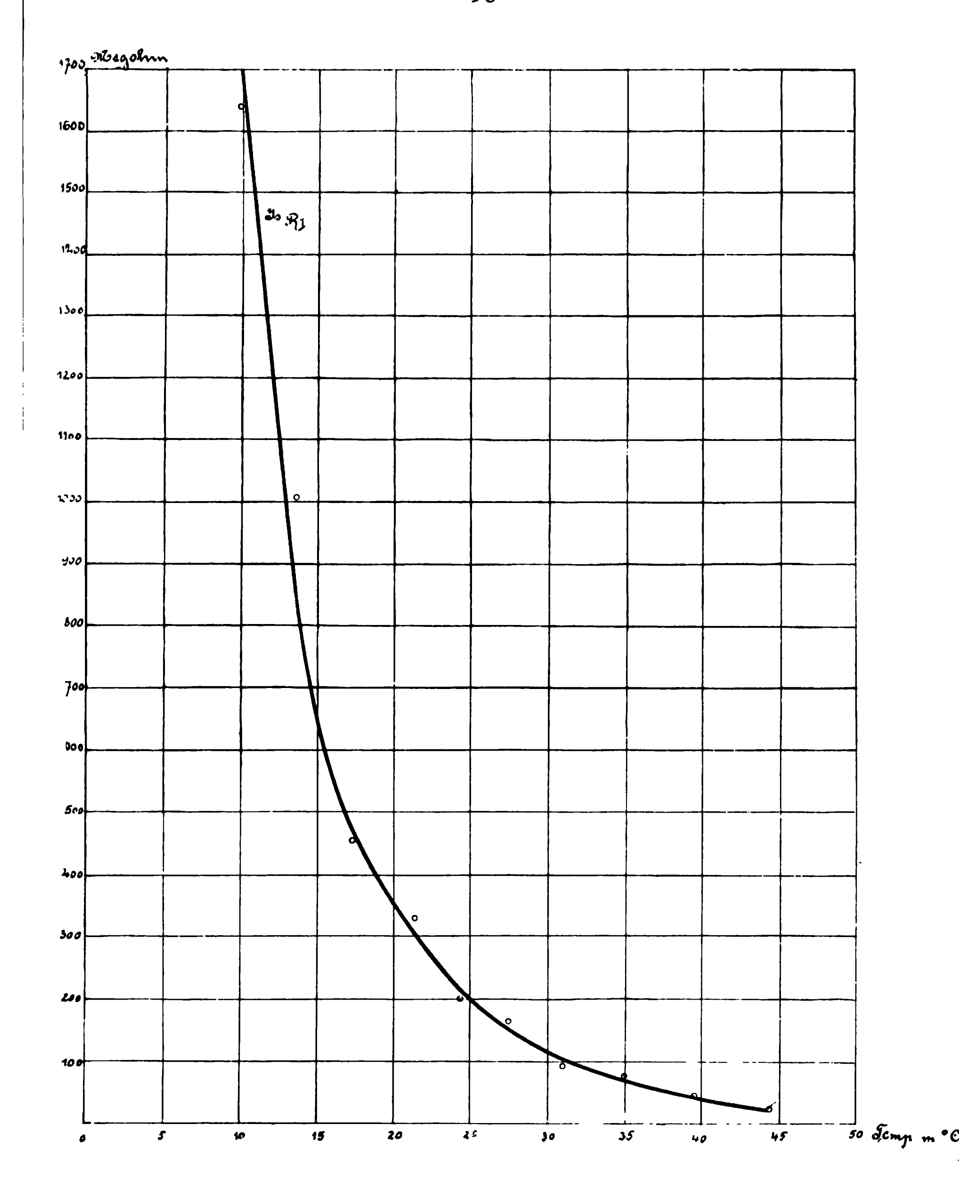
Temp. in °C	C'	I_s.	cos φ	𝕮	C
9,5	0,348	18 100,0	0,02100	0,1320	0,324
13,8	0,345	9 500,0	0,02340	0,1460	0,328
17,0	0,352	4 580,0	0,02270	0,1420	0,334
21,5	0,351	2 740,0	0,02330	0,1460	0,338
24,5	0,352	1 275,0	0,02260	0,1420	0,342
27,5	0,351	710,0	0,02080	0,1310	0,342
31,0	0,350	304,0	0,01770	0,1120	0,344
35,0	0,367	186,0	0,01560	0,0981	0,348
39,5	0,375	70,5	0,01170	0,0738	0,348
44,5	0,436	78,5	0,01070	0,0672	0,352
50,0	0,570	34,3	0,00882	0,0553	0,358

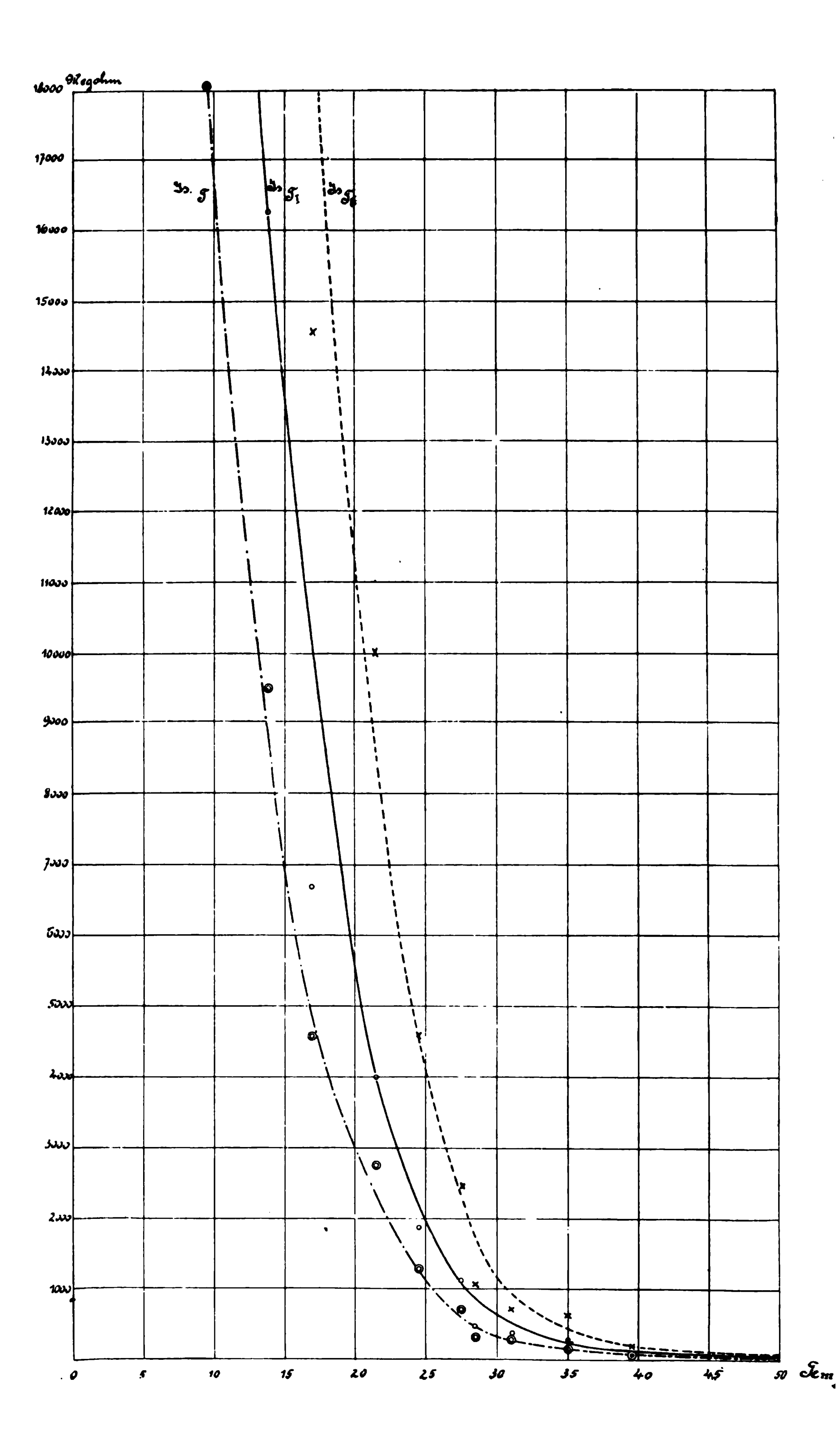
4. R_I.

Temp. in °C.	C'	I_s.	cos φ	𝕮	C
10,3	0,151	1640,0	0,0211	0,1330	0,1420
13,8	0,155	1010,0	0,0196	0,1240	0,1430
17,5	0,165	456,0	0,0168	0,1060	0,1430
21,5	0,195	326,0	0,0141	0,0890	0,1480
24,5	0,227	200,0	0,0125	0,0780	0,1475
27,5	0,274	168,0	0,0126	0,0795	0,1455
31,0	0,364	91,0	0,0144	0,0911	0,1460
35,0	0,515	75,0	0,0196	0,1240	0,1460
39,5	0,700	42,8	0,0296	0,1860	0,1470
44,5	1,060	21,1	0,0542	0,3430	0,1500

Um eine bessere Übersicht über die erhaltenen Werte zu bekommen, sollen die Werte cos φ, 𝕮 und die Isolationswiderstände in Abhängigkeit von der Temperatur graphisch aufgetragen werden.

Wir bemerken dabei, daß die Kabel der Klasse X bei ungefähr 20° C ein ausgeprägtes Maximum der Werte cos φ und 𝕮 zeigen, d. h. bei dieser Temperatur weisen diese Kabel den größten Energieverlust auf. Mit steigender Temperatur über 20° C hinaus nimmt der Energieverbrauch sehr stark ab, eine Erscheinung, die unerwartet ist. Leider war es nicht möglich, die Temperatur des Wasserbehälters über 50° C hinaus zu steigern. Es wäre aber doch sehr wichtig, das Verhalten der Kabel bei noch höheren Temperaturen kennen zu lernen. Bei ungefähr 25° C zeigt dagegen das Kabel R_I der Klasse Y ein deutliches Minimum des Verlustes. Der Energieverbrauch wächst dann bei höherer Temperatur sehr schnell. Da bei der praktischen Verwendung der Kabel die Kupferleiter durch die in ihnen fließenden Ströme erwärmt werden, und zwar läßt man eine Temperatur von 45° als obere Grenze in der Praxis zu, so muß das Kabel R_I zur Übertragung von hochgespannten Wechselströmen ungeeignet erscheinen, da eben die Energieverluste bei höherer Temperatur sehr stark ansteigen und ihrerseits die Temperatur der Kabel noch weiter erhöhen, so daß die Gefahr eines Durchschlages groß wird.


Megohm
1700
1600
1500
1300
1200
1100
800
700
500
400
300
200
100
0
5
10
15
20
30
35
40
45
50 Temp in °C.



Megohm
18000
17000
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

Vergleichen wir die Kurven für die Werte cos φ und $\mathfrak{E}$, welche ein Maß für den Energieverlust darstellen, mit den Kurven für den Isolationswiderstand, so ist deutlich zu erkennen, daß diese beiden, nämlich Energieverlust und Isolationswiderstand, nichts miteinander zu tun haben. In der Arbeit von Dr. Apt und Mauritius (Elektr. Zeitschrift 1903 S. 879) ist als Ursache der Energieverluste der Isolationswiderstand angegeben. In einem späteren Briefe (Elektr. Zeitschrift 1905 S. 419) wird diese Ansicht nochmals verfochten. Betrachten wir die Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von der Temperatur, so finden wir bei den Kabeln der Klasse X bis zur Temperatur von 30° C ein sehr starkes Abfallen des Isolationswiderstandes mit der Temperatur. Bei 30° C fängt die Imprägniermasse an flüssig zu werden und über 30° hinaus ist der Abfall des Isolationswiderstandes langsamer. Die Energieverluste sind dagegen zwischen 15 und 30° nicht sehr verschieden, fallen aber über 30° hinaus bedeutend ab.

Nach der Ansicht von Dr. Apt und Mauritius müßten aber die Energieverluste mit steigender Temperatur zunehmen, da der Isolationswiderstand bedeutend abnimmt.

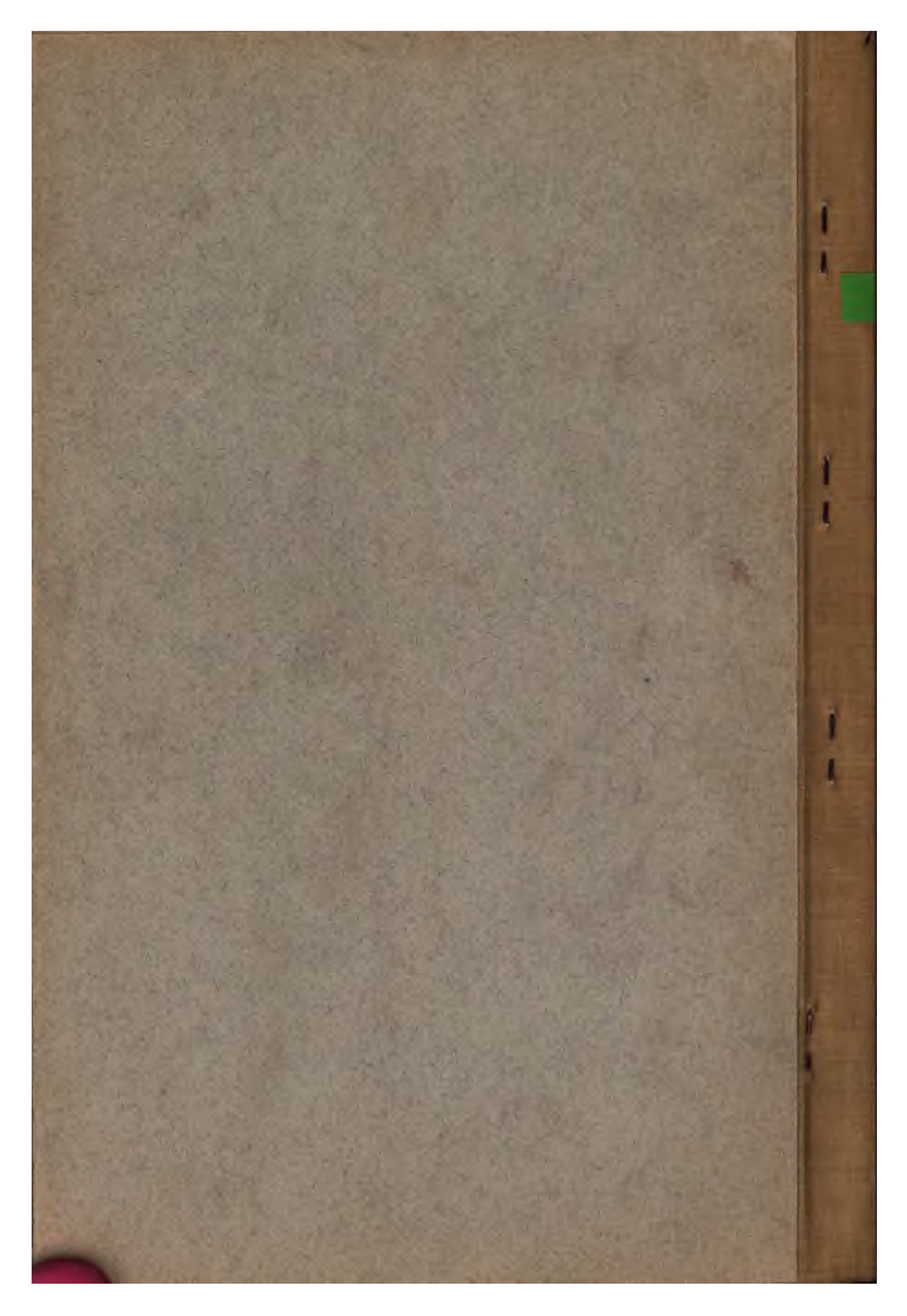
Der Energieverbrauch ist, wie aus den vorstehenden Messungen ersichtlich ist, proportional der Periodenzahl, d. h. er ist für einen Elektrisierungs-Zyklus, unabhängig von der Periodenzahl, konstant. Daraus können wir entnehmen, daß wir es mit dielektrischer Hysteresis zu tun haben.

In den Tabellen für die Kabel der Klasse X bemerkt man außerdem ein allmähliches Ansteigen der mit Wechselstrom gemessenen Kapazität *C* mit zunehmender Temperatur. Dasselbe ist auch in den Tabellen für die Kabel der Klasse Y zu beobachten. Bei den Kabeln der Klasse X bleibt die mit Gleichstrom gemessene Kapazität *C* bis ungefähr 31° C nahezu konstant, von dieser Temperatur an steigt aber *C'* sehr stark an, der ballistische Ausschlag wird sehr unbestimmt. Die mit Gleichstrom gemessene Kapazität *C'* des Kabels R_I fängt von Anfang an zu steigen. Diese Erscheinung muß einen ursächlichen Zusammenhang mit dem sehr niedrigen Isolationswiderstand haben.

Schon Rosa und Smith finden bei Paraffinpapier-Kondensatoren bei ungefähr 39° C ein scharf ausgeprägtes Maximum des Energieverlustes. Wenn die Temperatur über 39° C hinaus wächst, so nehmen die Verluste wieder ab. Bei 59° C aber sind die Verluste wieder ganz außergewöhnlich hoch. Es liegt damit eine Bestätigung der vorliegenden Ergebnisse vor.

Für die mitgeteilten Versuche war die elektrotechnische Versuchsanstalt des Carlswerks der Felten & Guilleaume-Lahmeyerwerke zu Mülheim a. Rhein mit ihren reichen Hilfsmitteln zur Verfügung gestellt worden. Der Firma soll hierfür und für das Entgegenkommen, mit welchem sie die Versuche jeder Zeit unterstützt und gefördert hat, an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen werden.

Lebenslauf.

Ich, Friedrich Paul Humann, wurde am 24. Februar 1876 zu Bochum i. W. als Sohn des † Kaufmanns Anton Humann und seiner Frau Luise geb. Gerber geboren. Nach dem frühen Tode des Vaters brachte mich die Mutter nach Mülheim a. Rh. Hier starb auch bald die Mutter und ich blieb zur weiteren Erziehung im Hause einer Schwester derselben.

Nach dem Besuche der unteren Klassen der Elementarschule kam ich zu Ostern 1885 auf das Realgymnasium in Mülheim, welches ich 1892 als Obersekundaner verließ, um als kaufmännischer Volontär bei der Firma Bergmann & Simons in Mülheim einzutreten. Um mich der Elektrotechnik zu widmen, kam ich im November 1893 als technischer Volontär in die Fabrik der E. A. G. vorm. Schuckert & Co. nach Nürnberg. Hier arbeitete ich in allen Abteilungen und auf Montage bis Juli 1894 und wurde dann als Monteur bei der E. A. G. Helios in Köln bis Dezember 1894 beschäftigt. Ostern 1895 bezog ich die technische Hochschule zu Darmstadt und im Herbst desselben Jahres diejenige zu Karlsruhe. Hier bestand ich nach vier Semestern die mathematisch-naturwissenschaftliche Vorprüfung und nach vier weiteren Semestern die akademische Schlußprüfung und das Diplomexamen in der Elektrotechnik. Schon im letzten Studiensemester war ich bei den Herren Hofrat Arnold und Professor Teichmüller als Assistent tätig und verblieb in dieser Stellung bis August 1900. Dann trat ich als Projektierungs-